

---

**Johann Rumpler**

# Optimierung eines Messplatzes zur Erfassung relevanter Kenngrößen von Mikroschaltern

eingereicht als  
DIPLOMARBEIT  
an der

**HOCHSCHULE MITTWEIDA (FH)**  
**UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES**

---

Fachbereich Informationstechnik & Gerätetechnik

**Mittweida, 2009**

**Erstprüfer: Prof. Dr. Rainer Parthier**  
**Zweitprüfer: Dr. Dieter Volm**

## **Bibliographische Beschreibung:**

Rumpler, Johann:

Optimierung eines Messplatzes zur Erfassung relevanter Kenngrößen von Mikroschaltern. – 2009. – 69 S.

Mittweida, Hochschule Mittweida (FH), Fachbereich Technische Informatik & Elektrotechnik, Diplomarbeit, 2009

## **Referat:**

Ziel der Diplomarbeit ist es, eine bestehende automatische Prüfeinrichtung für elektromechanische Schalter zu optimieren. Zunächst soll erörtert werden, welche relevanten Kenngrößen für die mögliche Einsetzbarkeit und in weiterer Folge für die Qualität maßgeblich entscheidend sind. Es werden die Mechanismen im Inneren betrachtet und vor allem, was am Ende des Tages zum Ausfall der Bauteile führt.

Zunächst wird der Bestand der bestehenden Anlage aufgenommen und die bisherigen Lösungskonzepte gegenüber gestellt. Schlussendlich wird ein neues Konzept für einen Messplatz erstellt, der eine vollautomatische Durchführung von Lebensdauertests ermöglicht. Es werden die Schaltspielzahl und der jeweilige Kontaktwiderstand protokolliert, um einen Zusammenhang zu einem bevorstehenden Ausfall aufgrund einer statistischen Auswertung zu erkennen.

## Sperrvermerk:

„Die vorliegende Arbeit mit dem Titel Optimierung eines Messplatzes zur Erfassung relevanter Kenngrößen von Mikroschaltern ist gesperrt. Daher ist die Diplomarbeit nur zur Vorlage an der Hochschule Mittweida (FH) sowie bei den Begutachtern der Arbeit bestimmt. Für die Öffentlichkeit und Dritte darf sie nicht zugänglich sein.“

## Inhaltsverzeichnis:

<b>I</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>	<b>VII</b>
<b>II</b>	<b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>VIII</b>
<b>III</b>	<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>IX</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Allgemeines über Panasonic und die Ausführung von Mikroschaltern .....</b>	<b>3</b>
2.1	Der Konzern im Allgemeinen .....	3
2.2	Übersicht Schalterprogramm mit Stärken und Schwächen .....	4
2.3	Prinzipieller Aufbau von Mikroschaltern .....	6
2.3.1	Anschlüsse.....	6
2.3.2	Betätiger .....	7
2.3.3	Ausführung des Kontaktes .....	7
<b>3</b>	<b>Fachbegriffe .....</b>	<b>8</b>
3.1	Positionen des Betätigers .....	8
3.2	Kräfte auf den Betätiger .....	8
3.3	Wege des Betätigers.....	10
3.4	Elektrische und mechanische Lebensdauer von Kontakten.....	11
3.5	Kräfte auf die Kontakte.....	12
3.6	Kontaktprellen .....	12
<b>4</b>	<b>Elektrische Kontakte .....</b>	<b>14</b>
4.1	Art der Kontakte .....	14

4.2	Werkstoffe .....	14
4.3	RoHS .....	15
4.4	Kontaktwiderstände.....	16
4.4.1	Ausbreitungswiderstand $R_A$ .....	16
4.4.2	Engewiderstand $R_E$ .....	16
4.4.3	Fremdschichtwiderstand $R_F$ .....	17
4.4.4	Hautwiderstand $R_H$ .....	18
4.5	Lichtbogen .....	18
4.6	Materialwanderung.....	19
4.6.1	Schalten von Wechselstromlasten .....	19
4.6.2	Feinwanderung von Anode zur Kathode .....	19
4.6.3	Grobwanderung von Kathode zur Anode .....	20
4.6.4	Schalten von hohen Strömen.....	21
4.7	Ausfall von Kontakten .....	21
4.8	Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit .....	22
<b>5</b>	<b>Prüfeinrichtung für Mikroschalter, prinzipieller Aufbau .....</b>	<b>24</b>
5.1	Simpler Aufbau nach Rotationsprinzip .....	24
5.2	SPS-gesteuerte Anlage mit pneumatischem Antrieb .....	25
5.2.1	Bedienterminal .....	26
5.2.2	Programm in der speicherprogrammierbaren Steuerung .....	29
5.2.3	Programmlisting SPS.....	32
5.3	Linearantrieb .....	33
5.4	Elektrischer Aufbau .....	34
5.4.1	Lastkreis mit regelbarem Labornetzteil .....	35
5.4.2	Erfassung des Laststroms .....	35
5.4.3	Erfassung der Spannung .....	36

<b>6</b>	<b>Prüfstand mit Linearantrieb nach dem Tauchspulenprinzip .....</b>	<b>37</b>
6.1	Ansteuerung des Linearantriebs .....	37
6.1.1	Positionsmodus.....	39
6.1.2	Geschwindigkeitsmodus .....	40
6.1.3	Kraftmodus.....	40
6.2	Benutzeroberfläche der aktuellen Prüfeinrichtung .....	40
6.2.1	Hauptmenü .....	41
6.2.2	Bestimmung der Schaltpunkte .....	42
6.2.3	Grafische Darstellung Kraft / Weg.....	43
6.2.4	Lebensdauer .....	45
6.3	Überwachung des Stroms über den Kontakt.....	46
<b>7</b>	<b>Statistische Auswertung von Prüfergebnissen .....</b>	<b>49</b>
7.1	Grundbegriffe der Statistik .....	49
7.2	Voraussagbarkeit des Eintretens eines Ereignisses .....	52
7.3	Die Bewertung von Prüfmustern nach Weibull .....	52
7.4	Lebensdauer von Geräten und deren Komponenten .....	54
<b>8</b>	<b>Beispiel für einen Lebensdauertest .....</b>	<b>57</b>
8.1	Kundenanforderung und Auswahl der Schaltertype .....	58
8.2	Verlauf von Strom und Spannung .....	59
8.3	Testlauf, Ermittlung der Ergebnisse .....	61
8.4	Ergebnisse des Lebensdauertests .....	67
<b>9</b>	<b>Blick in die Zukunft, Resümee .....</b>	<b>68</b>
<b>IV</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>X</b>
<b>V</b>	<b>Eidesstattliche Erklärung.....</b>	<b>XI</b>

## I Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current, Wechselstrom
Ag	lat. argentum, Silber
Au	lat. aurum, Gold
Cu	Cuprum, Kupfer
DC	Direct Current, Gleichstrom
Ni	Nickel
O	lat. oxygenium, Sauerstoff
OTP	Oberer Totpunkt
PC	Personal Computer
Pd	Palladium
RoHS	Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment
Sn	lat. stannum, Zinn
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SXGA	Super Extended Graphics Array
USB	Universal Serial Bus
UTP	Unterer Totpunkt
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment

## II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1, Art des elektrischen Anschluss .....	6
Abbildung 2, Panasonic AM5-Schalter mit unterschiedlichen Betätiger .....	7
Abbildung 3, Positionen und Kräfte auf den Betätiger .....	9
Abbildung 4, Wege des Betätiger .....	11
Abbildung 5, Zeit- / Spannungsverlauf beim Einschaltvorgang .....	13
Abbildung 6, Lebensdauer in Abhängigkeit der Stromstärke .....	22
Abbildung 7, Einsatzbereich in Abhängigkeit von Luftfeuchte und Temperatur .....	23
Abbildung 8, Schematische Darstellung .....	24
Abbildung 9, Schematische Darstellung Pneumatik .....	25
Abbildung 10, Bedienterminal Hauptmenü .....	26
Abbildung 11, Bedienterminal bei laufendem Betrieb .....	27
Abbildung 12, Bedienterminal Setupmenü .....	28
Abbildung 13, Sicherheitsabfrage .....	29
Abbildung 14, Programmlisting Kontaktplan .....	33
Abbildung 15, Schematische Darstellung Linearantrie .....	34
Abbildung 16, Arbeitsmodi .....	39
Abbildung 17, Hauptmenü .....	41
Abbildung 18, Programm zur Bestimmung der Schaltpunkte .....	42
Abbildung 19, Grafische Darstellung von Kraft und Weg .....	43
Abbildung 20, Kraft- / Wegediagramm bei einem Schnappschalter .....	44
Abbildung 21, Kraft- / Wegediagramm bei Schalter mit Schleifkontakt .....	44
Abbildung 22, Lebensdauertest .....	45
Abbildung 23, Weibull-Netz .....	54
Abbildung 24, Badewannenkurve .....	56
Abbildung 25, Schematische Darstellung ASQ Schalter mit Schleifkontakt .....	58
Abbildung 26, Schaltung Ersatzlast .....	59
Abbildung 27, Verlauf des Stroms beim Schließen des Schalters .....	60
Abbildung 28, Verlauf des Stroms beim Öffnen des Schalters .....	60
Abbildung 29, Schalter 1 geöffnet .....	62
Abbildung 30, Kontaktfläche Schalter 1 .....	62
Abbildung 31, Schalter 3 geöffnet .....	63
Abbildung 32, Kontaktfläche Schalter 3 .....	63



Abbildung 33, Schalter 14 mit gebrochener Feder, unbetätigt .....	65
Abbildung 34, Schalter 14 mit gebrochener Feder, betätigt.....	65
Abbildung 35, Schalter 15, Feder aus der Führung gesprungen .....	66
Abbildung 36, Schalter 15 mit deutlicher Verschleißerscheinung .....	66

### III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1, Die geschichtliche Entwicklung des Panasonic Konzerns.....	4
Tabelle 2, IP Schutzgrade Berührungs- und Fremdkörperschutz (1. Ziffer).....	5
Tabelle 3, IP Schutzgrade Wasserschutz (2. Ziffer).....	5
Tabelle 4, Einfluss der Hebellänge auf die Betätigungskraft.....	10
Tabelle 5, Kontaktformen bei einpoligen Schaltern.....	14
Tabelle 6, Eigenschaften der gebräuchlichsten Kontaktstoffe .....	15
Tabelle 7, Liste der globalen Variablen.....	32
Tabelle 8, Bedeutung des Programmbeispiels .....	38
Tabelle 9, Schaltspiele und Widerstände bis zum Erreichen des Prüfkriteriums 1 .....	61
Tabelle 10, Schaltspiele und Widerstände bis zum Erreichen des Prüfkriteriums 2 .....	64

# 1 Einleitung

Mikroschalter werden vorwiegend in Anwendungen zur Positionsbestimmung verwendet. Diese Schalter müssen nach mehr als hunderttausend Schaltspielen Lasten von wenigen Milliampere bis zu einigen Ampere noch immer zuverlässig schalten können. In den Datenblättern wird sehr wohl die Anzahl der Schaltspiele angegeben, jedoch verwenden die Kunden selten die in den Normen und in weiterer Folge in den Datenblättern angegebenen Lasten. Bevor der Kunde mit der Serienproduktion beginnt, erwartet er sich oft einen Test über die Lebensdauer der Schalter mit den geforderten Lasten. Dies geschah bei uns im Hause der „Panasonic Electric Works (Europe) AG“ mithilfe einer einfachen Schaltertestanlage. Ziel dieser Arbeit ist es, eine bestehende Schaltertestanlage zur Erfassung der relevanten Kenngrößen zu optimieren. Im Labor der „Panasonic Electric Works (Europe) AG“ befindet sich eine simple Schaltertestanlage. Diese Anlage besteht im Wesentlichen aus einem durch einen Pneumatikzylinder bewegten Schlitten, einer Aufnahme für die jeweiligen Mikroschalter und einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS). Mit dieser Anlage lassen sich einige Kriterien rasch bestimmen, jedoch stößt man damit rasch an Grenzen. Es kann lediglich die Anzahl der Schaltspiele bei einer festgelegten Spannung und Strom ermittelt werden. Mit diesen Angaben können sehr wohl fundierte Rückschlüsse auf die mechanische Lebensdauer der Mikroschalter und den Kontaktoberflächen im Inneren dieser Komponenten gewonnen werden. Wünschenswert wären zusätzliche Informationen über Kräfte und Geschwindigkeiten, die beim Betätigen auf den Stift des Schalters einwirken.

Aus diesem Grund soll der bestehende pneumatische Antrieb des Schlittens durch einen elektrischen Linearantrieb ersetzt werden. Damit könnte man zum Beispiel einen rampenförmigen Kräfteverlauf auf den Betätiger simulieren, es lassen sich aber auch unterschiedliche Geschwindigkeiten einstellen. Eine weitere Einschränkung besteht in der Verwendung einer SPS zur Steuerung dieser Schaltertestanlage. Eine SPS eignet sich perfekt zur Steuerung der Abläufe und zur Erfassung der Schaltspiele. Bei der statistischen Auswertung am Ende stößt die SPS an ihre Grenzen. Es fehlt sowohl an Speicherkapazität, als auch an einer Möglichkeit zur automatischen Erstellung von Berichten. Besser eignet sich ein Industrie-PC mit entsprechender Hardware an der USB- Schnittstelle kombiniert mit

einer auf LabVIEW basierenden Software. Die Vorteile liegen vor allem bei der Erstellung eines Berichts samt statistischer Auswertung am Ende der Testreihe, sowie der Möglichkeit zur nahezu unbegrenzten Speicherung der unterschiedlichen Projekte im firmeninternen Netzwerk.

## 2 Allgemeines über Panasonic und die Ausführung von Mikroschaltern

### 2.1 Der Konzern im Allgemeinen

Der japanische Matsushita Konzern wurde im Jahre 1918 von Konosuke Matsushita gegründet. Im Jahre 1935 erfolgte die Gliederung in zwei Unternehmensbereiche, die Matsushita Electric Works, Ltd. (MEW), mit dem ursprünglichen Geschäftszweig der Elektroinstallationsprodukte und die Matsushita Electric Industrial, Ltd. (MEI), die vorwiegend Produkte der Unterhaltungselektronik herstellt und vertreibt. Unter anderem geschieht dies mit den vor allem in Europa wohl bekannten Markennamen Panasonic, JVC und Technics. Die Gruppe MEW beschäftigt sich in Europa heute mit Lichttechnik, Informationstechnologie und Elektroinstallation, Bautechnik, Kunststoffmaterialien für die Elektronik, Automatisierungskomponenten und -systeme. In diesem Bereich sind etwa 43.000 Mitarbeiter in insgesamt 63 Produktionsstätten und 213 Vertriebsstandorten weltweit tätig. Es werden jährlich rund 600 Millionen Schalter produziert.

Panasonic Electric Works Austria GmbH wurde 1974 als Tochtergesellschaft der SDS Relais AG gegründet, seit 1988 gehört das Unternehmen zur Panasonic Electric Works Gruppe Europa, vormals bekannt unter dem Namen Matsushita Electric Works. Seit dem 1. April 2007 sind die 22 Mitarbeiter der Panasonic Electric Works Austria GmbH in die Panasonic Electric Works Deutschland GmbH integriert.

1918	Gründung der Matsushita Electric durch Konosuke Matsushita
1935	Teilung des Unternehmens in Matsushita Electric Industrial Co., Ltd. (MEI) und Matsushita Electric Works, Ltd. (MEW)
1962	Gründung der SDS-Relais GmbH in Deutschland
1964	Beginn der Zusammenarbeit zwischen SDS-Relais und Matsushita Electric Works
1974	Gründung der SDS-Relais GmbH in Österreich
1989	Gründung der Matsushita Electric Works (Europe) AG in Holzkirchen, Deutschland.

1989	Zusammenschluss der Firmen SDS-Relais und Matsushita Electric Works
1992	Gründung einer Fertigung in Pfaffenhofen, Deutschland
2004	Zusammenschluss der beiden Unternehmen in Matsushita Electric Industrial Co., Ltd. (MEI) und Matsushita Electric Works, Ltd. (MEW)
2005	Änderung des Namens von Matsushita Electric Works auf Panasonic Electric Works
2007	Zusammenschluss Panasonic Electric Works Austria GmbH und Panasonic Electric Works Deutschland GmbH

Tabelle 1, Die geschichtliche Entwicklung des Panasonic Konzerns

## **2.2 Übersicht Schalterprogramm mit Stärken und Schwächen**

Das Lieferprogramm an Schaltern aus dem Hause Panasonic spannt den Bogen von Miniaturschaltern mit Abmessungen von 7,5x2,5x4,5mm bis hin zu robusten Grenztastern für den industriellen Einsatz. Weiters sind noch unterschiedlichste Bauformen für Anwendungen als Türverriegelungsschalter, Wippschalter, Kipphebelschalter, Wipphebelschalter und Leuchtdrucktaster verfügbar. Am Häufigsten werden Mikroschalter verbaut.

Die Philosophie des Matsushita-Konzerns ist es, nicht mit Dumpingpreisen den Markt zu überschwemmen, vielmehr steht die Qualität im Vordergrund. Als Beispiel sei hier die „Türkis-Serie“ hervorzuheben. Diese Schalterserie ist in den unterschiedlichen Bauformen „Ultraminiatur, Subminiatur und Miniatur“ erhältlich und bietet zu den herkömmlichen Schaltern den Vorteil der Schutzart IP67 anstelle Schutzart IP20. Die Schutzklassen werden in der DIN EN 60529 bestimmt. Die erste Ziffer beschreibt den Schutzgrad für Berührungs- und Fremdkörperschutz, die zweite Ziffer steht für den Schutzgrad gegen das Eindringen von Feuchtigkeit.

1. Ziffer	Schutz gegen Berührung	Schutz gegen Fremdkörper
0	kein Schutz	kein Schutz
1	Schutz gegen großflächige Körperteile Durchmesser 50 mm	große Fremdkörper (Durchmesser ab 50 mm)
2	Fingerschutz (Durchmesser 12 mm)	mittelgroße Fremdkörper (Durchmesser ab 12,5 mm, Länge bis 80 mm)
3	Werkzeuge und Drähte (Durchmesser ab 2,5 mm)	kleine Fremdkörper (Durchmesser ab 2,5 mm)
4	Werkzeuge und Drähte (Durchmesser ab 1 mm)	kornförmige Fremdkörper (Durchmesser ab 1 mm)
5(K)	vollständiger Berührungsschutz	Staubablagerung
6(K)	vollständiger Berührungsschutz	kein Staubeintritt

Tabelle 2, IP Schutzgrade Berührungs- und Fremdkörperschutz (1. Ziffer)

2. Ziffer	Schutz gegen Wasser
0	kein Schutz
1	Schutz gegen senkrecht fallendes Tropfwasser
2	Schutz gegen schräg (bis 15°) fallendes Tropfwasser
3	Schutz gegen Sprühwasser bis 60° gegen die Senkrechte
4	Schutz gegen allseitiges Spritzwasser
4k	Schutz gegen allseitiges Spritzwasser unter erhöhtem Druck, gilt nur für Straßenfahrzeuge
5	Schutz gegen Strahlwasser
6	Schutz gegen starkes Strahlwasser (Überflutung)
6k	Schutz gegen starkes Strahlwasser unter erhöhtem Druck (Überflutung), gilt nur für Straßenfahrzeuge
7	Schutz gegen zeitweiliges Untertauchen
8	Schutz gegen dauerndes Untertauchen
9k	Schutz gegen Wasser bei Hochdruck- bzw. Dampfstrahlreinigung, gilt nur für Straßenfahrzeuge

Tabelle 3, IP Schutzgrade Wasserschutz (2. Ziffer)

## 2.3 Prinzipieller Aufbau von Mikroschaltern

Auch wenn die Schalter in den unterschiedlichsten Ausführungen gefertigt werden haben alle Schalter eines gemeinsam: Sie verfügen über Anschlüsse für die elektrischen Leitungen, einen Betätiger und Kontakte im Inneren des Gehäuses.

### 2.3.1 Anschlüsse

Die elektrischen Anschlüsse stellen das Bindeglied zwischen den Kontakten im Inneren des Schalters und den elektrischen Leitungen außerhalb dar. Je nachdem, wie der Einbau der Schalter erfolgen soll, ändern sich auch die Anforderungen an die Anschlüsse. Typischerweise erfolgt der Anschluss über Flachstecker, die einen raschen Einbau ermöglichen. Diese Flachstecker, oft auch als „FASTON“ bezeichnet, werden in zwei unterschiedlichen Größen gefertigt. Die größere Ausführung ist für 6,3mm breite, die kleinere für 4,8mm breite Stecker konzipiert. Diese haben meist eine größere Bohrung, um auch als Lötanschluss verwendet werden zu können. Es gibt auch Ausführungen für das Einlöten direkt auf Leiterplatten. Für rauere Umgebungsbedingungen finden Schalter mit Kabelanschlüssen in der Ausführung IP67 Verwendung.

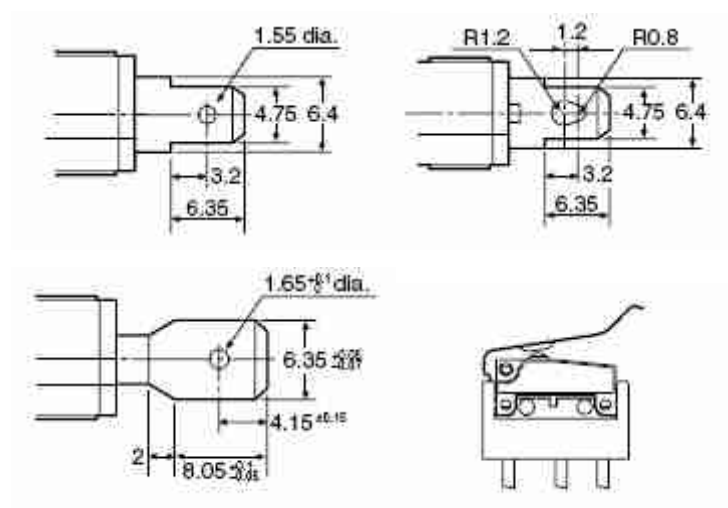


Abbildung 1, Art des elektrischen Anschluss

### 2.3.2 Betätiger

Die Verbindung zwischen dem Kontakt im Inneren des Schalters und der Kraft von Außen wird über einen Stößel ausgeführt. Nicht immer lassen sich die Applikationen mit Schaltern in Stößelausführung realisieren. Im Lieferprogramm von Panasonic gibt es eine Vielzahl von Hebeln in unterschiedlichen Längen, rollenähnlichen Hebeln sowie kurze und lange Rollenhebel. Somit lassen sich unterschiedliche Betätigungswege realisieren. Auch das Verhalten der Kräfte auf den Stößel wird aufgrund der Hebelwirkung verbessert.

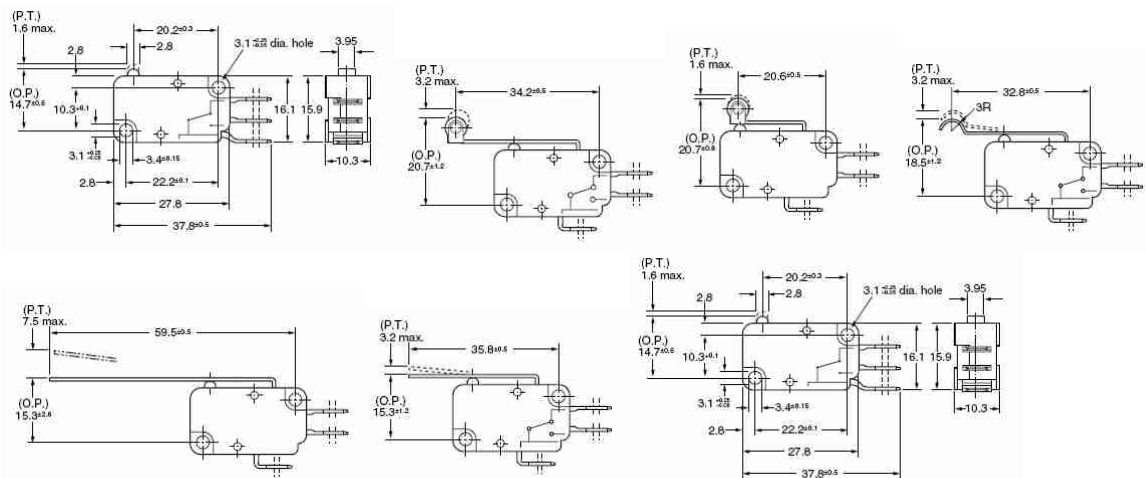


Abbildung 2, Panasonic AM5-Schalter mit unterschiedlichen Betätiger

### 2.3.3 Ausführung des Kontaktes

Generell werden Schalter als Schnappschalter gefertigt. Durch den Betätiger wird der bewegliche Teil des Kontakts auf den festen Teil des Kontakts gepresst. Nach dem Absenken der Kraft schnappt der bewegliche Teil in die Ausgangslage zurück, eine eigene Rückstellfeder ist nicht verbaut. Die einzige Ausnahme im Lieferprogramm von Panasonic stellt die Serie ASQ dar. Dieser Schalter der Turquoise Serie verfügt über einen so genannten Schleifkontakt. Der Vorteil dieser Serie ist der nahezu lautlose Schaltvorgang. Ein Kontaktprellen ist ebenfalls bauartbedingt nicht festzustellen. Der Schalter verfügt außerdem über einen sehr langen Nachlaufweg, wobei der Schalter weniger empfindlich auf ein zu kraftvolles Betätigen reagiert.



## 3 Fachbegriffe

In den Datenblättern stößt man immer wieder auf Fachbegriffe. Selten werden diese auch ausführlich beschrieben. In diesem Kapitel wird näher auf die Schalterstellungen, auf die Kräfte - sowohl auf den Betätiger als auch auf die Kontakte selbst - und auf Wege des Betätigers eingegangen. Zu beachten ist, dass sich die in den Datenblättern angegebenen Positionen, Kräfte und Wege immer auf die Krafteinwirkung direkt auf den Stößel beziehen.

### 3.1 Positionen des Betätigers

Der Betätiger kann eine der folgenden Positionen durchlaufen:

- Die Ruhestellung (Free Position (F.P.)) ist die Ausgangsposition des Betätigers, in der keine Kraft von außen auf ihn einwirkt.
- Als Schaltpunkt (Operating Position (O.P.)) bezeichnet man den Punkt auf dem Weg des Betätigers, an dem der Sprungmechanismus der Kontaktfeder in Funktion gesetzt wird.
- Die Endstellung (Overtravel Position (O.T.P.)) ist die Position des Betätigers am Ende des zulässigen Betätigungsweges.
- Als Rückschaltpunkt (Release Position (R.P.)) bezeichnet man jenen Punkt des Betätigers auf dem Weg zurück zur Ruhestellung, an dem der Sprungmechanismus der Kontaktfeder in seine Ausgangsstellung zurückschnappt. Dieser Punkt muss nicht mit dem Schaltpunkt übereinstimmen. Der Weg dazwischen wird als Differenzweg bezeichnet. Bei einem Schließer werden hier die Kontakte getrennt, beim Öffner hingegen werden die Kontaktflächen geschlossen.

### 3.2 Kräfte auf den Betätiger

Folgende Kräfte können auf den Betätiger eines Schalters einwirken:

- Die Schaltbetätigungskraft (Operating Force (O.F.)) wird benötigt, um den Betätiger aus der Ruhestellung zu bewegen und diesen über den Schaltpunkt zu führen.

- Die Rückschaltkraft (Release Force (R.F.)) ist jene Kraft, auf welche die Schaltbetätigungskraft minimiert werden muss, damit der Sprungmechanismus der Kontaktfeder in die Ausgangslage zurückkehrt.
- Als Differenzkraft wird die Differenz zwischen Schaltbetätigungskraft und Rückschaltkraft bezeichnet.
- Die Endbetätigungskraft (Total overtravel force) wird benötigt, um den Betätiger in der zulässigen Endstellung zu halten.

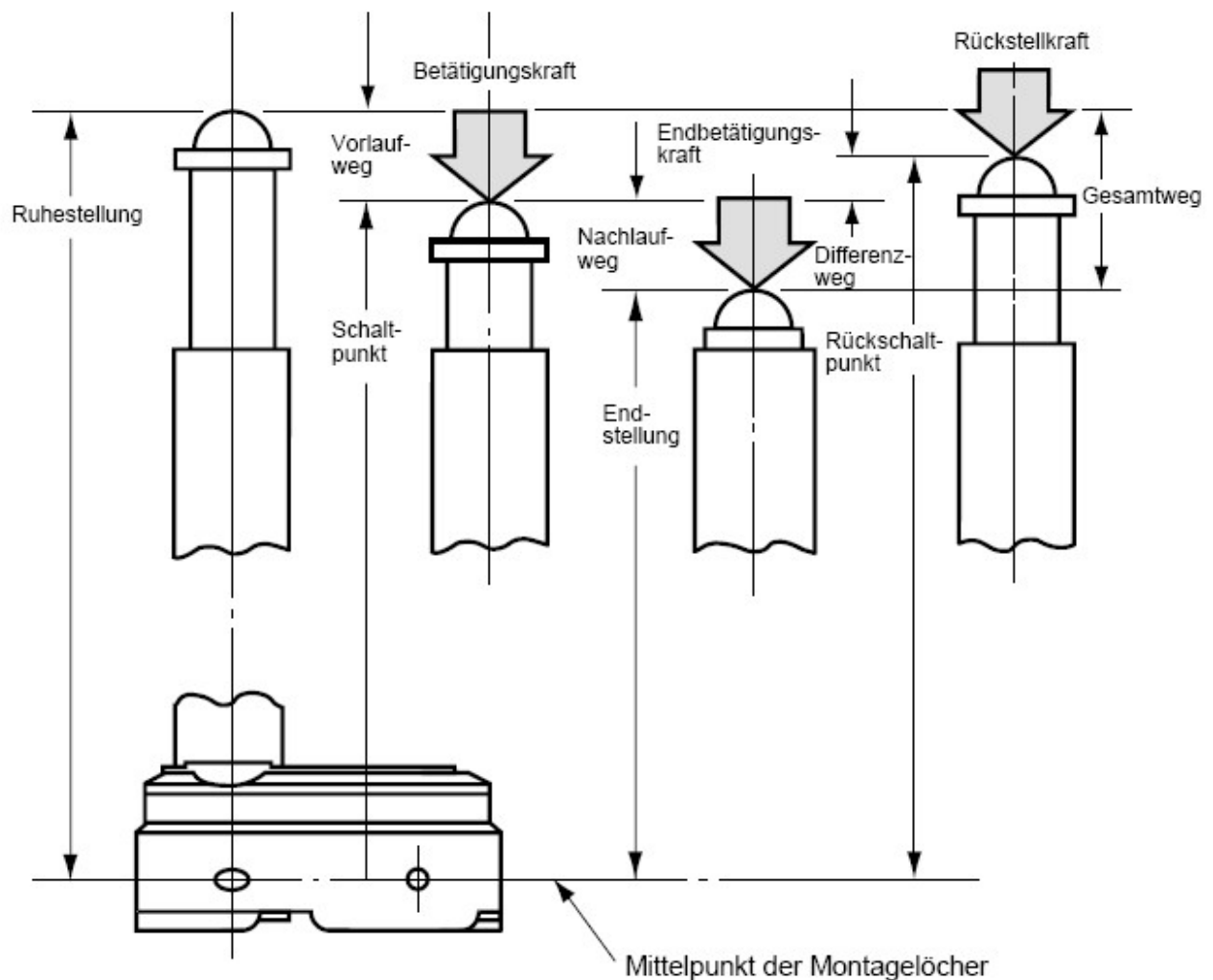


Abbildung 3, Positionen und Kräfte auf den Betätiger

In den Datenblättern werden jene Kräfte angegeben, die auf den Betätiger einwirken müssen, um von der Ruhestellung in die Schaltstellung zu gelangen. Der Einfluss des Hebels auf den Schalter wird anhand der folgenden Tabelle dargestellt. Richtigerweise muss die Kraft in Newton angegeben werden, die Kunden verlangen aber aus historischen Gründen oft eine Angabe in Gramm. Aus diesem Grund

wurden auch hier die Datenblattangaben zur Schalterserie AM5 um eben diese Spalte erweitert.

Hebel	Kraft [N]	Masse [g]
Ohne Hebel	0,49	49,97
Kurzer Hebel	0,59	60,16
Standardhebel	0,29	29,57
Langer Hebel	0,15	15,30
Simulierte Rolle	0,29	29,57
Kurzer Rollenhebel	0,59	60,16
Standard Rollenhebel	0,29	29,57

Tabelle 4, Einfluss der Hebellänge auf die Betätigungskraft

### 3.3 Wege des Betätigers

Der Betätiger kann folgende Wege durchlaufen:

- Der Vorlaufweg (Pretravel (P.T.)) ist jener Weg, den der Betätiger zwischen Ruhestellung und Schaltpunkt zurücklegt.
- Als Nachlaufweg (Overtravel (O.T.)) wird jener Weg bezeichnet, den der Betätiger zwischen Schaltpunkt und Endstellung zurücklegt.
- Der Rücklaufweg ist jener Weg, den der Betätiger zwischen Endstellung und Rückschaltpunkt zurücklegt.
- Der Leerlaufweg ist der Weg ab dem Rückschaltpunkt bis zum Erreichen der Ruhestellung.
- Als Differenzweg (Hysterese) bezeichnet man die Differenz zwischen Schaltpunkt und Rückschaltpunkt.
- Der Gesamtweg ist die Summe aus Vorlaufweg und Nachlaufweg bzw. aus Rücklaufweg und Leerlaufweg.

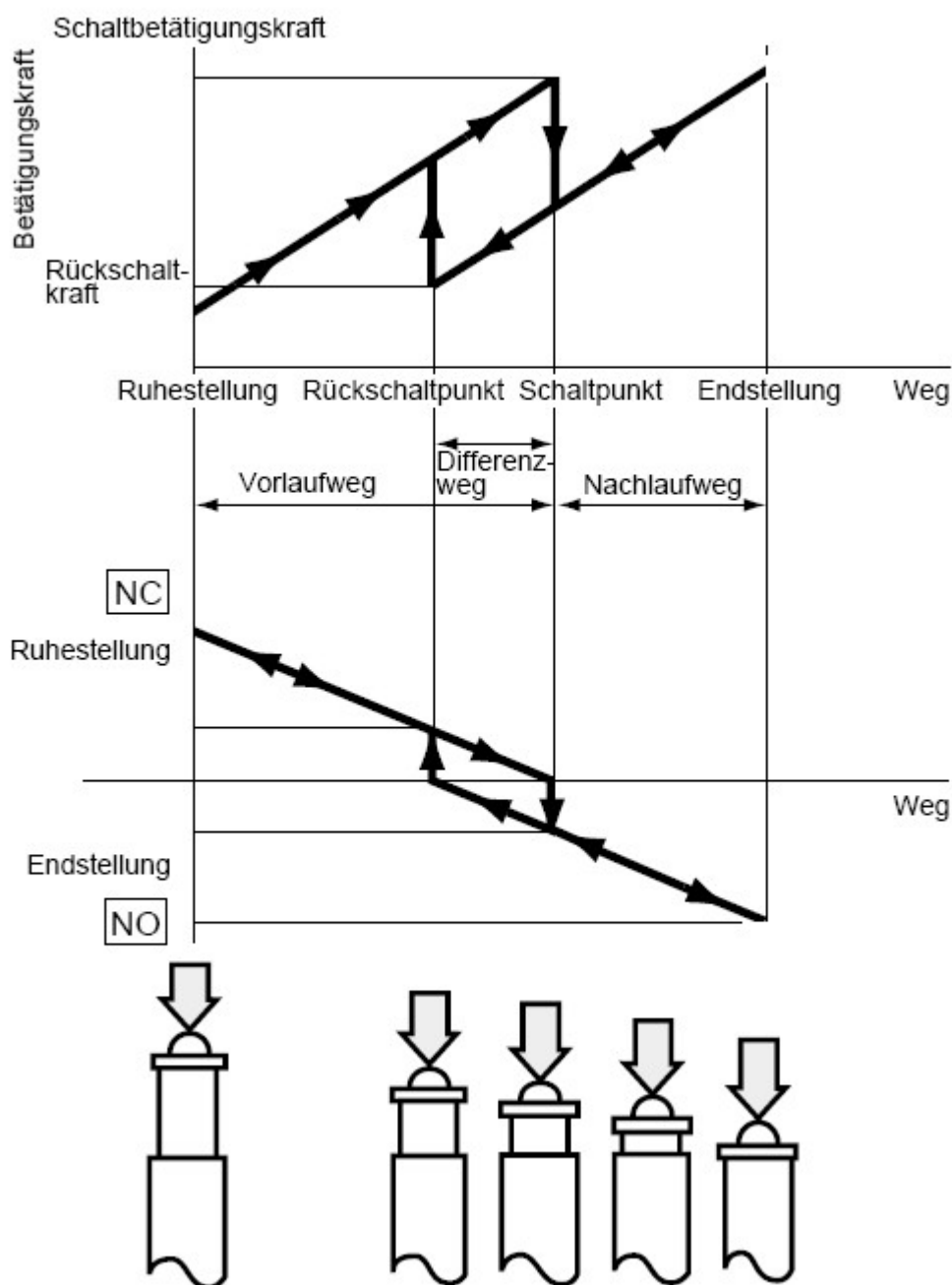


Abbildung 4, Wege des Betätiger

### 3.4 Elektrische und mechanische Lebensdauer von Kontakten

Die mechanische Lebensdauer wird ohne elektrischer Last ermittelt. Als Zyklus wird eine Frequenz von 60Hz definiert, die Arbeitsgeschwindigkeit ist mit 100mm pro Sekunde festgelegt. Die elektrische Lebensdauer wird bei Nennlast durchgeführt. Hierbei ist die Schaltfrequenz 20Hz bei einer Arbeitsgeschwindigkeit von 100mm pro Sekunde. Die mechanische Lebensdauer ist in der Regel um ein bis zwei

Zehnerpotenzen höher als die elektrische Lebensdauer. Bei der Serie ABV wird die mechanische Lebensdauer mit 5.000.000 ( $5 \times 10^6$ ) Schaltspielen angegeben und die elektrische Lebensdauer mit 100.000 ( $10^5$ ) Schaltspielen.

### 3.5 Kräfte auf die Kontakte

Die Kraft, die vom Betätiger des Schalters auf die Kontakte wirkt, bezeichnet man als Kontaktkraft. In geschlossenem Zustand rechnet man 5cN pro Ampere Schaltstrom. Mit steigender Kontaktkraft erhöhen sich die Kontaktsicherheit, die Lebensdauer sowie die Stoß- und Schüttelfestigkeit der Kontakte. Die Kontakterwärmung und der Kontaktwiderstand sinken mit steigender Kontaktkraft und erhöhen somit die Zuverlässigkeit des Schalters.

Quelle 1, Sauer, Hans: Relais Lexikon, S.71

### 3.6 Kontaktprellen

Das Schließen eines Kontakts ist mit dem ersten Berühren der beiden Kontaktflächen nicht abgeschlossen. Die vorhandene kinetische Energie wird nicht nur in Wärme, sondern auch die verbleibende Energie in plastische und elastische Verformung umgesetzt. Letztere wirkt bei der Rückbildung der Schließerkraft entgegen und führt zum Öffnen des Kontaktes. Dieser Vorgang kann sich mehrere Male wiederholen, die Zeit zwischen dem ersten und dem letzten Schließen des Kontakts wird als Prellzeit bezeichnet. Der Kontakt kann sich dabei um mehrere zehntel Millimeter wieder öffnen und gleich wieder schließen. Meist ist dieses Kontaktprellen nach wenigen Millisekunden beendet. Vor allem beim Schalten von Signalen wirkt sich dieses Prellen negativ aus, da eine schnelle Signalverarbeitung mehrere Impulse wahrnimmt. Ein weiches Kontaktmaterial, eine geringe Schließgeschwindigkeit, ein leichter beweglicher Kontakt und eine hohe Kontaktkraft reduzieren sowohl die Amplitude als auch die Dauer des Prellens.

Die anschließende Zeit, in der die Kontaktkraft schwingt, wird als dynamischer Kontaktwiderstand oder Kontaktrauschen bezeichnet.

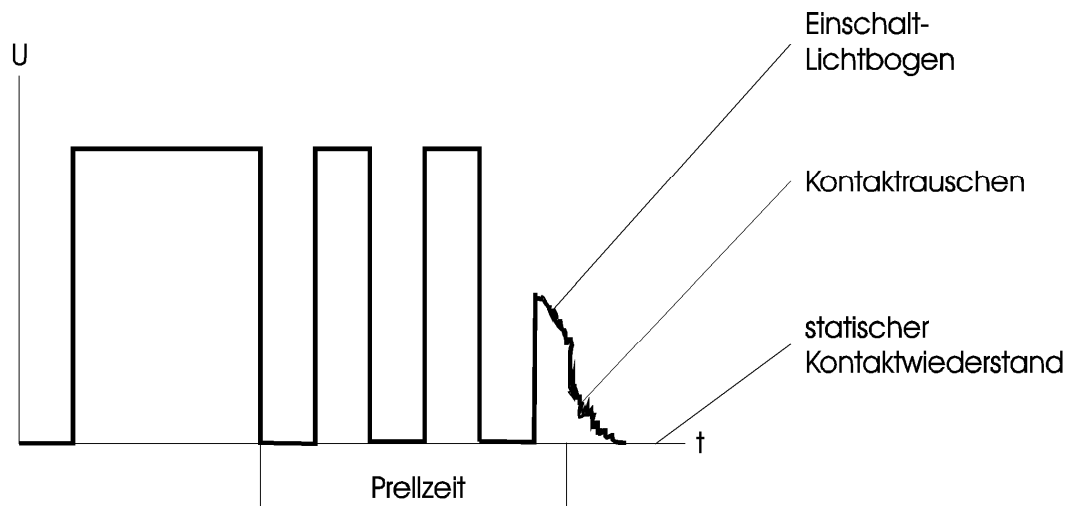


Abbildung 5, Zeit- / Spannungsverlauf beim Einschaltvorgang

Quelle 2, Sauer, Hans: Relais Lexikon, S.41

## 4 Elektrische Kontakte

### 4.1 Art der Kontakte

Mikroschalter werden mit den verschiedenen Kontaktarten gefertigt. Den größten Anteil bilden die Typen mit Umschalterkontakt. Diese haben einen Öffnerkontakt und einen Schließerkontakt mit einem gemeinsamen Wurzelanschluss. Diese Umschalter werden nahezu ausnahmslos nach dem Prinzip „break before make“ hergestellt, das bedeutet sie den Öffnerkontakt trennen ehe sie die Verbindung des Schließerkontakts herstellen. Selten werden vom Kunden Schalter mit nur zwei Anschlüssen gewünscht. Ist der Kontakt in der Ruhestellung geöffnet, spricht man von einem Arbeitskontakt oder Schließer. Umgekehrt gibt es Schalter, bei denen in der Arbeitsstellung der Kontakt geöffnet ist. Diese werden dann Öffner oder Ruhekontakt genannt.

Kontaktform	Kurzbezeichnung	Englische Bezeichnung
Öffner	SPSTNC (1 Form B)	<b>Single Pole Single Throw Normaly Closed</b>
Schließer	SPSTNO (1 Form A)	<b>Single Pole Single Throw Normaly Open</b>
Wechsler	SPDT (1 Form C)	<b>Single Pole Double Throw</b>

Tabelle 5, Kontaktformen bei einpoligen Schaltern

### 4.2 Werkstoffe

Neben der Kontaktform nimmt das Material einen wesentlichen Einfluss auf die Eigenschaft des Kontaktes. In der Praxis werden ausschließlich Legierungen bei der Herstellung von Kontakten verwendet.

Ag99,95 (Feinsilber)	Billigstes Edelmetall, Anlauf durch Schwefeleinwirkung, daher nicht für besonders hohe Ansprüche, Kontaktkraft möglichst >15cN.
AgNi0,15	Gegenüber Feinsilber geringfügig verbesserte mechanische Eigenschaft.

AgPd30	Bessere Anlaufbeständigkeit, höhere Härte, relativ geringer Abbrand, dafür höherer Preis.
AgCdO10	Geringe Schweißneigung, gute Abbrandfestigkeit bei höheren Schaltleistungen, lichtbogenlöschende Eigenschaften. Verbundwerkstoff, dessen Eigenschaften vom jeweiligen Herstellungsverfahren mit beeinflusst werden.
AgSnO <sub>2</sub> 10	Analog AgCdO10, jedoch höhere thermische Zersetzungstemperatur, abbrandfester mit geringerer Materialwanderung.
Au (Feingold)	Als reines massives Metall nicht verwendet, da zu weich. Als galvanischer Überzug von großer Bedeutung (üblich im Bereich von 0,1-10µm Dicke). Die Härte (auf Kosten der elektr. Leitfähigkeit) ist dabei in weiten Grenzen variierbar. Porenfreie Schichten oberhalb 1µm. Beste Korrosionsbeständigkeit aller Metalle.

Tabelle 6, Eigenschaften der gebräuchlichsten Kontaktstoffe

Quelle 3, Sauer, Hans: Relais Lexikon, S.75

### 4.3 RoHS

Mit der EG-Richtlinie 2002/95/EG hat sich die Europäische Union ein ehrgeiziges Ziel gesetzt. Hinter der bekannten Abkürzung RoHS (**R**estriction of the use **o**f certain **h**azardous **s**ubstances in electrical and electronic equipment) steht eine Einschränkung bei der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. Folgende Substanzen wurden als gefährliche Stoffe festgelegt und demnach verboten, beziehungsweise strenge Obergrenzen für deren Verwendung festgelegt.

- Blei
- Quecksilber
- Cadmium
- sechswertiges Chrom
- Polybromierte Biphenyle (PBB)
- Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Diese Richtlinie wird in Österreich durch die Elektrogeräteverordnung WEEE (Waste Electrical and Electronic Equipment) geregelt, die RoHS Richtlinie trat per 30. April



2005 in Kraft. Länder wie die USA, Japan und China sind dem Beispiel gefolgt und haben ähnliche Verordnungen beschlossen.

Problematisch zeigte sich vor allem das Verbot von Blei beim Verlöten, weil die neueren Lote höhere Schmelztemperaturen benötigen. Auch gab es anfangs für diese Verarbeitungsmethoden keine Langzeiterfahrung, was zu einigen Ausnahmeregelungen für medizinische Geräte, das Militär und Überwachungs- und Kontrollinstrumente führte.

### 4.4 Kontaktwiderstände

Der elektrische Widerstand  $R_K$  des geschlossenen Kontaktes setzt sich als Summe physikalisch unterschiedlicher Haupteinflussfaktoren zusammen.

$$R_K = R_A + R_E + R_F + R_H$$

In den Datenblättern werden nicht nur der Kontaktwiderstand  $R_K$ , sondern auch der Durchgangswiderstand  $R_D$ , also der Widerstand von Anschluss zu Anschluss, angegeben.

Die Grundlagen zur Berechnung von Kontaktwiderständen wurden bereits im Jahre 1967 von R. Holm veröffentlicht und werden auch heute noch in Fachbüchern zitiert.

#### 4.4.1 Ausbreitungswiderstand $R_A$

Der Ausbreitungswiderstand wird im Wesentlichen durch die Form der Kontaktflächen bestimmt. Wichtig ist dabei, dass die Berührungspunkte der beiden Kontaktflächen symmetrisch aufeinander treffen. Mit zunehmender Stromstärke steigt auch der Widerstand auf den Kontaktflächen. Der Ausbreitungswiderstand spielt jedoch in Summe nur eine untergeordnete Rolle in der Berechnung des Kontaktwiderstands.

#### 4.4.2 Engewiderstand $R_E$

Eine exakte Ermittlung des Engewiderstands stellt sich als schwieriges Unterfangen dar, weil sich bei jeder Betätigung des Kontaktes die Berührungsflächen ändern können. Der Engewiderstand ist in grober Näherung durch

$$R_E = \frac{\bar{\rho}}{d}$$

bestimmt, wobei  $\rho$  der mittlere spezifische Widerstand eines Kontaktpaares und  $d$  der Durchmesser einer kreisförmigen Berührungsstelle bezeichnet.

Mit steigender Spannung am Kontakt steigt auch die Stromstärke, was zu einer steigenden Temperatur am Kontakt führt. Bei steigender Temperatur steigt der Spannungsabfall an den Kontakten bis zur Entfestigungsspannung  $U_E$  und die Kontaktflächen verformen sich. Aufgrund der nun größeren Kontaktfläche sinkt der Widerstand und somit der Spannungsabfall an den Kontaktflächen. Wird der Kontakt weiter bis zur Schmelzspannung  $U_S$  belastet, schmilzt das Kontaktmaterial und der Widerstand fällt deutlich ab.

#### **4.4.3 Fremdschichtwiderstand $R_F$**

Der Fremdschichtwiderstand  $R_F$  ist sowohl aufgrund seines instabilen Auftretens, als auch seiner Höhe und Entstehung einer der heimtückischsten Widerstände. Unter der Annahme einer gleichmäßigen Fremdschichtdicke  $d$ , dem spezifischen Widerstand  $\rho_F$  und der Berührungsfläche  $\pi a^2$ , wird  $R_F$  wie folgt berechnet:

$$R_F = \frac{\rho_F d}{\pi a^2}$$

Gründe für die Bildung von Fremdschichten:

- Fremdschichtbildung im Ruhezustand
  - Unsachgemäße Kontaktreinigung
  - Chemische Reaktion
  - Anlagerung organischer Dämpfe
- Beim Schalten ohne elektrischer Last
  - Polymerisation organischer Adsorptionsschichten „Brown-Powder-Effekt“ durch Schalten sehr kleiner Lasten
  - Reiboxidation
- Beim Schalten mit elektrischer Last
  - Korrosionsprodukte durch chemische Reaktionen
  - Oxidation von unedelmetallischen Bestandteilen
  - Vollständige oder unvollständige Zerstörung organischer Deckschichten

Quelle 4, Sauer, Hans: Relais Lexikon, S.78

#### 4.4.4 Hautwiderstand $R_H$

Bei einer sehr dünnen Bildung von Fremdschichten spricht man vom Hautwiderstand  $R_H$ .

$$R_H = \frac{\rho_H}{\pi a^2}$$

Ist diese Schicht <10nm, kann sie vernachlässigt werden, da sie von den Ladungsträgern durchbrochen wird.

Eine Erhöhung der Spannung führt zum Durchbrechen der Fremdschichten. Die Spannung, bei der der Widerstand durchbrochen wird, nennt man Frittespannung. Vor allem bei der Übertragung von Signalen stellen diese Haut- bzw. Fremdschichten ein sehr großes Problem dar. Hier ist eine Erhöhung der Spannung kaum realisierbar. Es ist vorwiegend eine saubere Herstellung der Kontaktflächen gefordert. Meistens werden diese Kontakte mit einer dünnen Goldschicht überzogen.

#### 4.5 Lichtbogen

Ein Lichtbogen ist eine Gasentladung, die beim Öffnen unter Spannung stehender Kontakte entsteht. Mit sinkender Kontaktkraft erhöht sich der Kontaktwiderstand, die Temperatur steigt und führt bei ausreichender Spannung zur Zündung des Lichtbogens. Als Folge des Lichtbogens wandert Kontaktmaterial von der Kathode zur Anode, was vor allem beim Schalten von DC-Lasten zu Problemen führt. Infolge dieser Materialwanderung tritt an den Kontakten entsprechende Krater- bzw. Spitzenbildung auf.

Beim Schalten von AC-Lasten ist dieses Materialwandern durch den ständigen Wechsel von Anode und Kathode nicht so ausgeprägt. Die Temperatur am Lichtbogen kann zwischen 2.000°C und 10.000°C liegen. Diese hohen Temperaturen führen zum schädigenden Abbrand an den Kontaktflächen. Um den Lichtbogen entsteht eine ionisierte Luftstrecke, die Lichtbogenspannung ist deshalb nur sehr gering. Die Stromdichte kann rund 100A/mm<sup>2</sup> betragen.

Folgende Faktoren haben Einfluss auf die Intensität und Dauer des Lichtbogens:

- Art der Last (AC oder DC)
  - Ohmsche Last
  - Induktivität
  - Kapazität
  - Frequenz
- Schaltgeschwindigkeit
- Luftdruck
- Art und Zusammensetzung eines gegebenenfalls vorhandenen Schutzgases
- Magnetisches Feld
- Form und Werkstoff der Kontakte

Der Lichtbogen hat aber auch einen positiven Effekt. Es kommt zur so genannten Selbstreinigung der Kontaktoberfläche, dabei verdampfen störende Fremdschichten.

## 4.6 Materialwanderung

### 4.6.1 Schalten von Wechselstromlasten

Das Schalten von Wechselstromlasten stellt sich als relativ problemlos dar. Wird nicht zwingend in einer bestimmten Phasenlage geschaltet, wechseln sich Pluspol und Minuspol ab, es kommt zu einem so genannten Nulldurchgang. Ein gegebenenfalls entstandener Lichtbogen brennt nur vom Augenblick der Kontakttrennung bis zum Erreichen des Nulldurchgangs. Eine Materialwanderung findet nicht statt.

### 4.6.2 Feinwanderung von Anode zur Kathode

Verglichen mit dem Schalten von Wechselstromlasten ist das Schalten von Gleichstromlasten ungleich kritischer. Vor allem beim Schließen von kapazitiven Stromkreisen, aber auch beim Schalten von Spannungen zwischen der Siedespannung und der Lichtbogenmindestspannung, tritt der Effekt des Anodenbogens auf. Im Moment der Entstehung einer Strombrücke kommt es im

Gasraum zu hohen Stromdichten ohne erkennbarer Lichterscheinung, jedoch mit einer meist großen Belastung der Kontaktoberflächen. Es resultiert daraus eine so genannten Feinwanderung, die als Spitzenbildung an der Kathode und einem engen Krater auf der Anode erkennbar ist. Dies kann zu einer Abnahme des Kontaktabstandes, aber auch zum Verhaken oder Verschweißen und in weiterer Folge zum Ausfall des Kontaktes führen. Wie stark diese Materialwanderung ausgeprägt ist, wird vor allem durch das Kontaktmaterial an der Anode bestimmt.

Beim Öffnen von Schaltkreisen mit niedriger Spannung entsteht an der Kathode eine Temperatur nahe dem Siedepunkt des Kontaktmaterials. Dabei werden kleine Schmelztropfen auf die bereits heiße Anode ausgeschleudert, was zu einer starken Verdampfung des Anodenmaterials führt. Dies führt zu einem Materialgewinn an der Kathode. Mit zunehmender Verdampfung an der Anode steigt der Dampfdruck, was wiederum zu Ionisationsprozessen und einem Ionenbeschuss an der Kathode führt. Jetzt beginnt auch die Kathode zu verdampfen und retourniert wieder Material an die Anode. Ist der Metaldampf verteilt und kondensiert können sich frühere Entladungsphasen wiederholen. Die geschieht in so kurzer Zeit, dass sich der Kontaktabstand kaum vergrößert. Zusammenfassend ist die in Form von engen Kratern und feinen Spitzern erkennbare Materialwanderung beim Öffnen ungleich geringer als beim Schließen von Kontakten.

### **4.6.3 Grobwanderung von Kathode zur Anode**

Eine Grobwanderung setzt einen Lichtbogen voraus und es folgt eine flächenhafte Materialwanderung von der Kathode zur Anode. Durch den Lichtbogen entstehen hohe Temperaturen an den Kontaktflächen, die zu einem Verdampfen an der Kathode führt. Das verdampfte Material setzt sich im gesamten Kontaktraum, aber auch an der Kathode selbst und vor allem an der Anode fest. Es entsteht durch den Abbrand ein Materialverlust. Eine Materialüberführung bei hohen Stromdichten, die durch Plasmaströme getrieben werden, findet vor allem beim Verfahren des Lichtbogenschweißen bewusst Verwendung.

#### 4.6.4 Schalten von hohen Strömen

Beim Schalten von Gleichstromlasten ist die Dauer des Schaltvorgangs entscheidend. Bei kurzen Schaltzeiten kann eine Wanderung von der Anode zur Kathode festgestellt werden. Dies kann auf das Entstehen von kurzen Bögen zurückgeführt werden. Bei längerer Schaltdauer kehrt sich diese Wirkung um und es kommt zu einer ausgeprägten Plasmasäule im Bereich des Lichtbogens.

### 4.7 Ausfall von Kontakten

Die Lebensdauer von Kontakten wird nur im geringen Maße von der mechanischen Beanspruchung bestimmt. Eine erwähnenswerte mechanische Beanspruchung wird jedoch durch Erwärmung der Kontaktflächen hervorgerufen. Bei den hohen Lichtbogentemperaturen kommt es bei ausreichender Einwirkdauer zu einem Aufschmelzen der Kontaktoberflächen. Köhlen diese wieder ab, treten Zugspannungen auf. Durch die thermische Ausdehnung der heißeren Bereiche kommt es zu irreversiblen Verformungen. Die Deformation betrifft alle mit dem Lichtbogen in Berührung kommenden Teile. Kontaktniete und gelötete Kontakte wölben sich schüsselförmig und bei hoher Beanspruchung können die Spannungen zu Rissen im Trägermaterial oder an den Lötstellen führen. Eine gute thermische Leitfähigkeit und ein harter, voluminöser Kontakt können einer Verformung entgegenwirken, die Lebensdauer erhöhen oder ein Schalten höherer Stromstärken ermöglichen.

Nicht immer führt ein Lichtbogen gleich zur Verformung. Sowohl beim Einschalten als auch beim Ausschalten führt der Lichtbogen vor allem bei größeren Kontaktabständen zu einem Materialverlust an der Umgebung der Kontaktflächen. Dieser Materialverlust wird als Abbrand bezeichnet. Der Einschaltabbrand wird in erster Linie von der Prellzeit (siehe Abschnitt 3.6 Kontaktprellen) und dem Verlauf des Einschaltstroms bestimmt. Der Abbrand wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Die elektrische Beanspruchung wird durch die Stromstärke, Spannung, Frequenz und Schalthäufigkeit bestimmt. Bei der Konstruktion spielen die Geometrie, die Kontaktkraft und die Schaltgeschwindigkeit eine wesentliche Rolle. Beim Kontaktmaterial sind vor allem die elektrische und thermische Leitfähigkeit, die Härte, sowie der Schmelz- bzw. Siedepunkt entscheidend. Die Vielzahl der

Faktoren machen eine Berechnung des zu erwartenden Abbrands nahezu unmöglich, vor allem wenn unterschiedliche Lasten und Schalzhäufigkeiten berücksichtigt werden sollen. Man ist schlussendlich auf experimentelle Untersuchungen angewiesen.

### 4.8 Einfluss von Temperatur und Feuchtigkeit

Auch ein geschlossener Kontakt hat einen, wenn auch sehr kleinen, ohmschen Widerstand, an dem beim Führen von Strom die elektrische Leistung in Wärme umgesetzt wird. Bei kurzen Schaltzyklen kann sich diese Wärme mit der durch einen Lichtbogen entstandenen Wärme aufschaukeln und zu einer thermischen Überbelastung des Kontaktes führen. Die kompakten Abmessungen der Schalter können diese Wärme nur schwer abführen, ein Wärmestau belastet sowohl das Kontaktmaterial als auch das Gehäuse selbst.

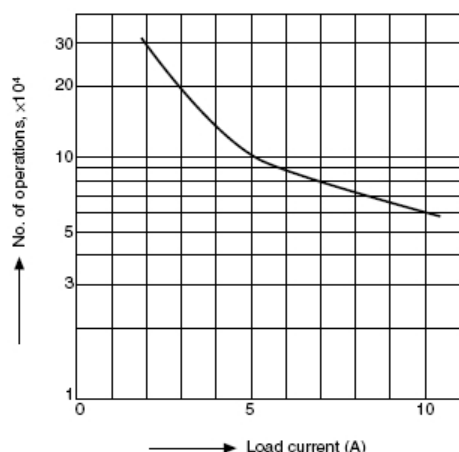


Abbildung 6, Lebensdauer in Abhängigkeit der Stromstärke

Nicht nur die Einsatztemperatur, sondern auch die Luftfeuchtigkeit ist bei der Auswahl zu beachten. In den Datenblättern findet man Angaben zur erlaubten Luftfeuchtigkeit, meist in einem Bereich zwischen 5% und 95%. Eine Kombination aus hoher Luftfeuchtigkeit und hohen Temperaturänderungen kann zum Kondensieren im Inneren des Schalters führen und den Isolationswiderstand negativ beeinflussen. Entstehen dann noch Temperaturen von unter 0°C kann eben dieses Kondensat gefrieren und eine schwergängigen Betätigung, im schlimmsten Fall sogar ein Hängen bleiben, zur Folge haben.

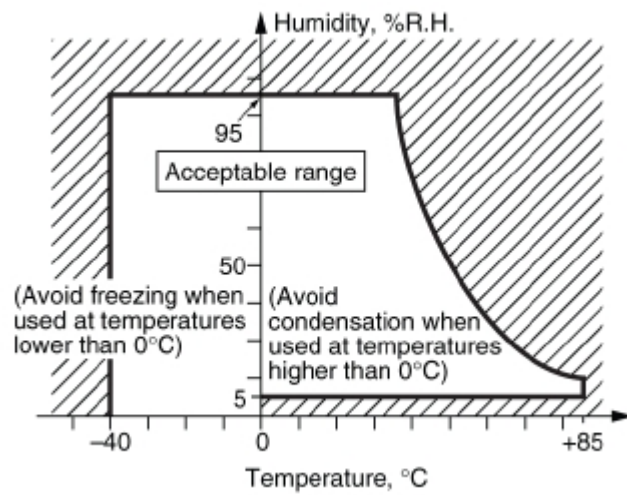


Abbildung 7, Einsatzbereich in Abhängigkeit von Luftfeuchte und Temperatur



## 5 Prüfeinrichtung für Mikroschalter, prinzipieller Aufbau

Es gibt wie bei nahezu jeder Problemstellung, auch in diesem Fall, mehrere Lösungsansätze. Die nachstehenden Lösungen zeigen unterschiedliche Wege auf und die jeweiligen Vor- und Nachteile werden erörtert.

### 5.1 Simpler Aufbau nach Rotationsprinzip

Den ersten, so genannten „Gehversuch“, stellte eine Prüfeinrichtung bestehend aus einem Elektromotor der Firma „Sigl Elektromotoren GmbH & Co.KG“ und einer ausrangierten Motorradnockenwelle dar. Der Motor mit 90 Watt Leistung und einer Nenndrehzahl von 1280 Umdrehungen pro Minute wurde mittels Frequenzumrichter und SPS gesteuert. Die maximale Drehzahl reicht aus, um 500.000 Schaltspiele in 6,5 Stunden zu absolvieren.

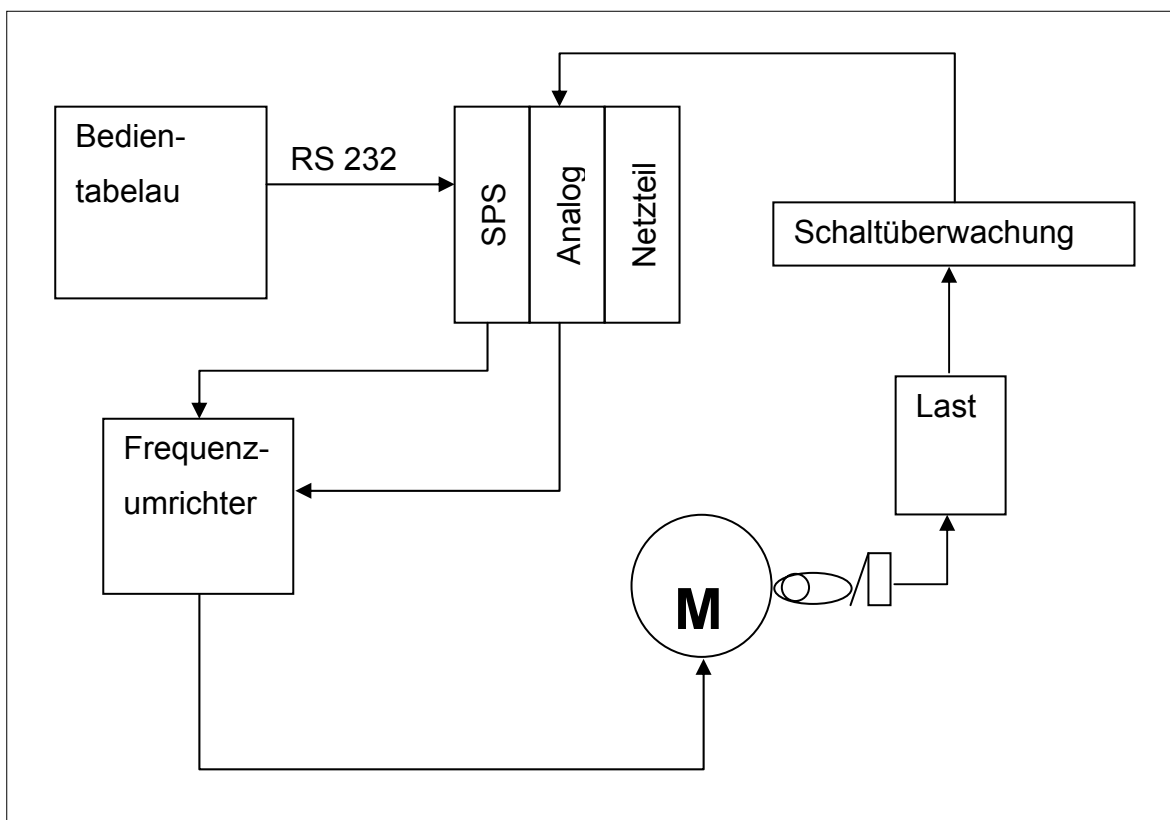


Abbildung 8, Schematische Darstellung

Dieser Aufbau eignet sich perfekt für Schalter aus dem Signalbereich, bei denen vor allem eine hohe Anzahl an Schaltzyklen mit geringen Strömen gefordert ist. Die

Vorteile liegen vor allem am kostengünstigen Aufbau und einer einfachen Handhabung. Es können aber hohe Kräfte und große Stellwege auf den Schalter einwirken. Auch die Geschwindigkeiten, die auf den Schalter wirken, sind nur schwer regelbar und die Positionierung bei Schaltern ohne Hebel schwierig. Ein weiterer Nachteil ist der Verschleiß an den rotierenden Teilen wie Bürsten und Schleifern.

### 5.2 SPS-gesteuerte Anlage mit pneumatischem Antrieb

Nach den anfänglichen Problemen mit der ersten Testanlage wurde ein neues Konzept auf die Beine gestellt. Dieser Schaltertester wird von einer SPS gesteuert und besteht im Wesentlichen aus einem pneumatisch betriebenen Zylinder, der über ein 5/3-Wegeventil in Mittelstellung gesperrt, betrieben wird. Dieses Ventil hat 5 Anschlüsse und 3 Schaltpositionen. In Ruhestellung sind alle 3 Wege gesperrt. Legt man an eine der beiden Spulen eine Spannung an, bewegt sich der Kolben nach vor bzw. zurück. Liegt keine Spannung an, wird der Kolben arretiert. In der vorderen Endlage werden die zu testenden Schalter betätigt. Über die Kontakte des Schalters fließt der Laststrom, parallel dazu wird durch das Betätigen des Schalters über einen elektronischen Zähler das Signal an die SPS weitergegeben. Die SPS zählt sowohl die Anzahl der Sollspiele sowie die der tatsächlichen Impulse. Beide Werte werden an einem Display angezeigt.

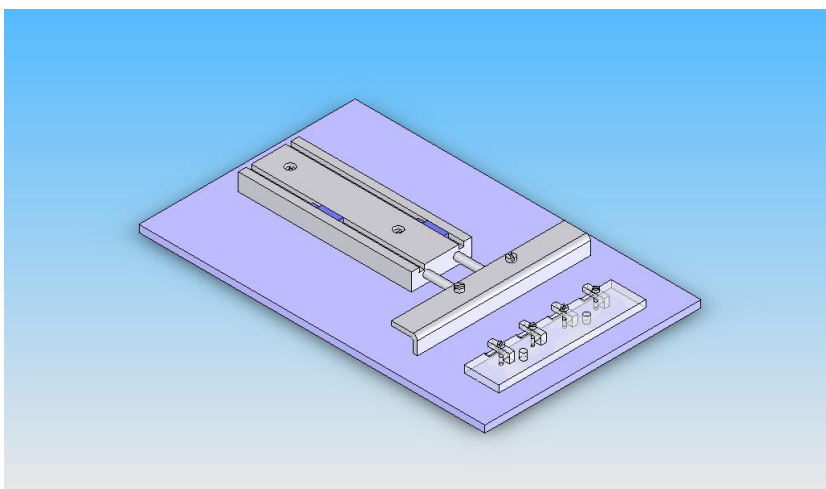


Abbildung 9, Schematische Darstellung Pneumatik

Das Problem am pneumatisch betätigten Zylinder ist, dass man die Betätigungsgeschwindigkeit nur bedingt regeln kann. Eine Dämpfung über ein teilweise geschlossenes Ventil ermöglicht nur eine sehr ungenaue Einstellung der gewünschten Geschwindigkeit. Es ist zwar möglich, diese Geschwindigkeit mittels Lichtschranken am unteren und am oberen Totpunkt zu messen, jedoch möchte man oft die Geschwindigkeit, mit welcher die Schalter im Test betätigt werden, bestimmen können.

### 5.2.1 Bedienterminal

Die Bedienung der Anlage geschieht über ein Bedienterminal der Type GT30 und verfügt über eine Auflösung von 320 mal 240 Bildpunkten. Das Hauptmenü besteht aus den beiden Tasten für den Programmstart „Handbetrieb“ und „Automatik“. Der Handbetrieb lässt den Schlitten bis zum Betätigen der „STOPP“ Taste zwischen OTP und UTP pendeln. Im Automatikbetrieb pendelt der Schlitten solange, bis die Werte der Schaltzyklen „Soll“ und „Ist“ Zahl den gleichen Wert erreicht haben. Mit der Taste Setup gelangt man in das passwortgeschützte Menü zur Systemanpassung.

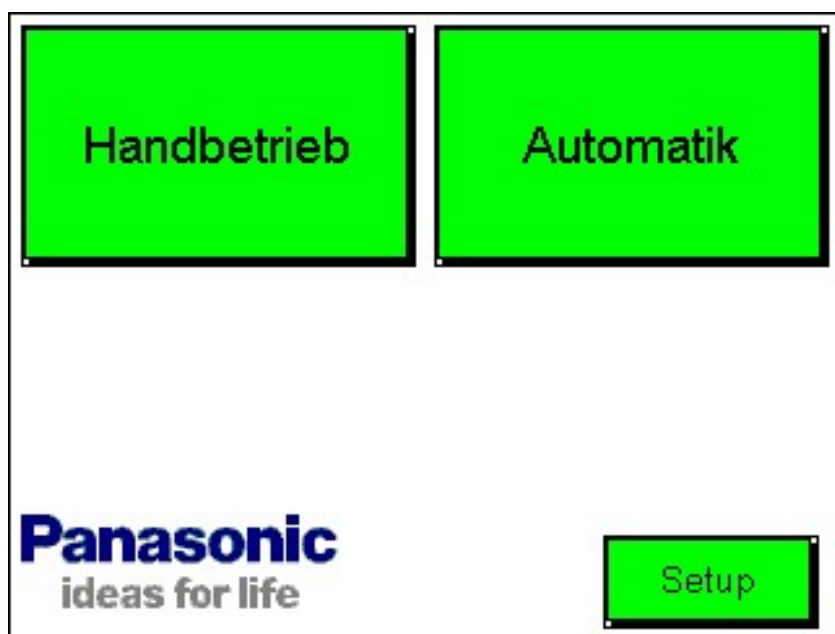


Abbildung 10, Bedienterminal Hauptmenü

Im laufenden Betrieb werden die bereits absolvierten Schaltzyklen, die durch eine Lichtschranke am OTP ermittelt werden, angezeigt. Zusätzlich ist jeder zu testende Schalter mit einem Eingang der SPS verbunden und gibt den tatsächlich durchgeführten Schaltimpuls ans System weiter. Auch diese Zählstände werden angezeigt. Mit der Taste „Zurück“ gelangt man zum Hauptmenü, die Taste „STOPP“ unterbricht den Testablauf, die Werte der Zählerstände bleiben jedoch erhalten.



Abbildung 11, Bedienterminal bei laufendem Betrieb

Im Setupmenü können Anpassungen der Pufferzeiten vorgenommen werden. Des Weiteren ist seit Systemimplementierung eine nicht rücksetzbare Anzeige der

Gesamtzyklen hinterlegt. Die Wartezeit UTP entspricht der Zeit, die den Schlitten in der Ausgangsposition verharren lässt, und kann sehr klein gewählt werden. Als typischer Wert hat sich eine Wartezeit von 10ms etabliert. Kritischer ist die Wartezeit am OTP, da hier die Schalter betätigt werden. Dieser Wert muss unter Berücksichtigung des Lastkreises gewählt werden. Kritisch ist dieser Punkt vor allem bei Lasten mit großem Energiespeicher oder Kondensatoren. Die Entprellzeit muss immer kleiner als die Wartezeit OTP gewählt werden. Hier werden Störungen, die durch Kontaktprellen hervorgerufen werden, herausgefiltert. Die Taste „Zählerstände rücksetzen“ lässt alle Zählerstände, die am Hauptmenü angezeigt werden, auf null setzen.

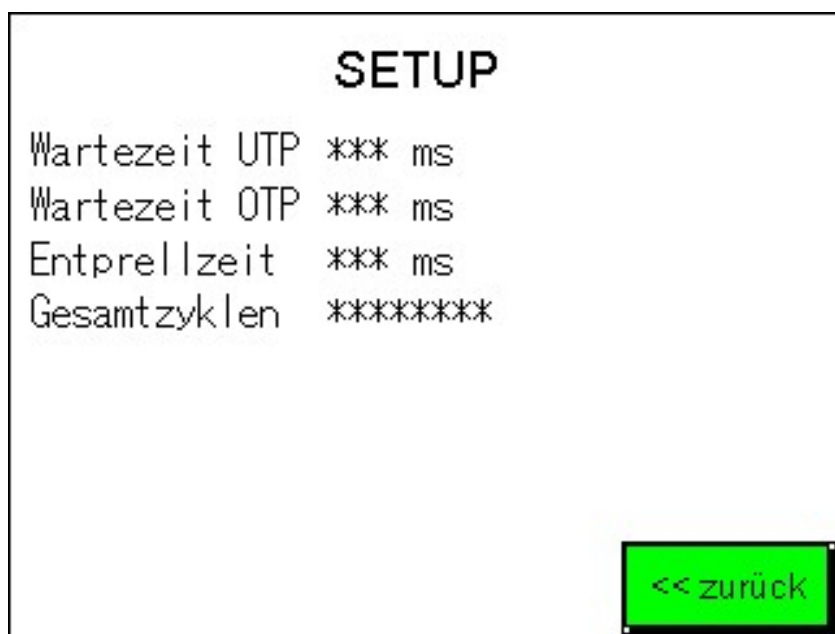


Abbildung 12, Bedienterminal Setupmenü

Um ein unbeabsichtigtes Betätigen dieser Funktion zu unterbinden wurde eine Sicherheitsabfrage eingerichtet. Erst nach dem Betätigen der Taste „Zählerstände auf 0 setzen“ wird der Reset ausgeführt. Mit der Taste „Abbruch“ gelangt man wieder zum Hauptmenü.



Abbildung 13, Sicherheitsabfrage

### 5.2.2 Programm in der speicherprogrammierbaren Steuerung

Die Ansteuerung des Pneumatikzylinders wird mit einer Steuerung der Type FP0C32PAT realisiert. Die Steuerung verfügt über 16 digitale Eingänge und 16 digitale Transistorausgänge, der Programmspeicher ermöglicht 5.000 Programmschritte und der Datenspeicher umfasst 6.144 Worte.

Die am Häufigsten verwendete Programmiersprache ist die Programmierung nach Kontaktplan. Die einzelnen Programmschritte werden in so genannten Netzwerken zusammengefasst.

Zu Beginn des Lebensdauertests muss der Schlitten an die Endstellung des Schalters angepasst werden. Dies verhindert eine mechanische Zerstörung der zu prüfenden Schalter. Es müssen die Zählerstände verwaltet und der Bewegungsablauf des Schlittens muss programmiert werden. Zu guter Letzt müssen Sicherheitsverknüpfungen und Abbruchbedingungen berücksichtigt werden.

- Netzwerk 1:

Legt man die Steuerung an Spannung, wird beim ersten Programmzyklus ein Sondermerker gesetzt. Dies hilft uns, den Schalterprüfstand zu initialisieren. Es wird ein Hilfsmerker „System\_Start“ gesetzt und der Schlitten wird in die Ausgangsposition „unterer Totpunkt“ (UTP) bewegt. Dieser Abschnitt wird

auch aktiviert, sobald der Hand- oder Automatikbetrieb beendet wird. Der Schlitten bewegt sich nach Beendigung des Programms in die Ausgangsposition und schafft Platz zum Ausbau der Schalter.

- Netzwerk 2:

Ist der Schlitten an der Ausgangsposition angelangt, wird der Hilfsmerker „System\_Start“ sowie der Ausgang für das Magnetventil rückgesetzt und der Merker „System\_OK“ gesetzt.

- Netzwerk 3:

Dieses Netzwerk wird für das Rücksetzen der Zählerstände benötigt. Der Merker „Zaehlerruecksetzen“ wird über das Bedienterminal gesetzt, mit dem Befehl „MOVE“ wird der Wert „0“ and die vier Zähler der absolvierten Schaltzyklen „Schaltzyklen\_Schalter(x)“ sowie and den Zähler der Sollzyklen „Schaltzyklen“ zugewiesen. Diese fünf Datenregister wurden selbsthaltend ausgeführt, somit gehen die absolvierten Schaltzyklen nach einem Stromausfall nicht verloren und können nur über das Bedienterminal auf 0 gesetzt werden.

- Netzwerk 4:

In diesem Netzwerk beginnt, sofern das System OK ist, die Auswahl zwischen Handbetrieb und Automatik. Der Aufruf dazu erfolgt ebenfalls via Bedienterminal. Ist der Schlitten in der Ausgangsposition (UTP) wird der Ausgang, nach dem die „Wartezeit\_UTP“ verstrichen ist, „Schlitten nach OTP“ gesetzt.

- Netzwerk 5:

Ist der Schlitten am oberen Totpunkt (OTP) angelangt, läuft hier die „Wartezeit\_OTP“ ab. Die beiden Wartezeiten aus Netzwerk 4 und 5 können ebenfalls über das Systemmenü am Bedienterminal angepasst werden. Diese Wartezeiten im Millisekundenbereich dienen einer sicheren Auswertung der Schaltimpulse.

- Netzwerk 6:

Kommt der Schlitten während eines Programmablaufs, Hand oder Automatik, an der Position OTP an, wird mit der Prüfung der Signale begonnen. Hierzu wird der Merker „Schalterkontrolle“ gesetzt.

- Netzwerk 7:

Im Systemmenü kann eine „Entprellzeit“ definiert werden. Erst nach Ablauf

dieser „Entprellung“ beginnt der Ablauf für die Schalterkontrolle. Damit wird verhindert, dass das Prellen (siehe 3.6 Kontaktprellen) der Schaltkontakte nicht mehrere Impulse an die Zyklenzähler weitergibt. Die Signale der Schalter eins bis vier geben die gefilterten Impulse an den Befehl „F36\_DINC“ weiter, den Zählern der absolvierten Schaltzyklen „Schaltzyklen\_Schalter(x)“ wird der Wert eins addiert. Ebenfalls werden die Werte der Zähler „Schaltzyklen“ für den aktuellen Test sowie der Zähler „Gesamtzyklen“ für die Gesamtspiele der Schalter seit Implementierung um den Wert eins erhöht.

- Netzwerk 8:

Hier wird die Abbruchbedingung für den Automatikbetrieb realisiert. Ist der Vergleichswert „Schaltzyklen“ größer oder gleich dem im Bedienterminal festgelegten Referenzwert „Schaltzyklen\_Automatik“, wird der Automatikbetrieb beendet.

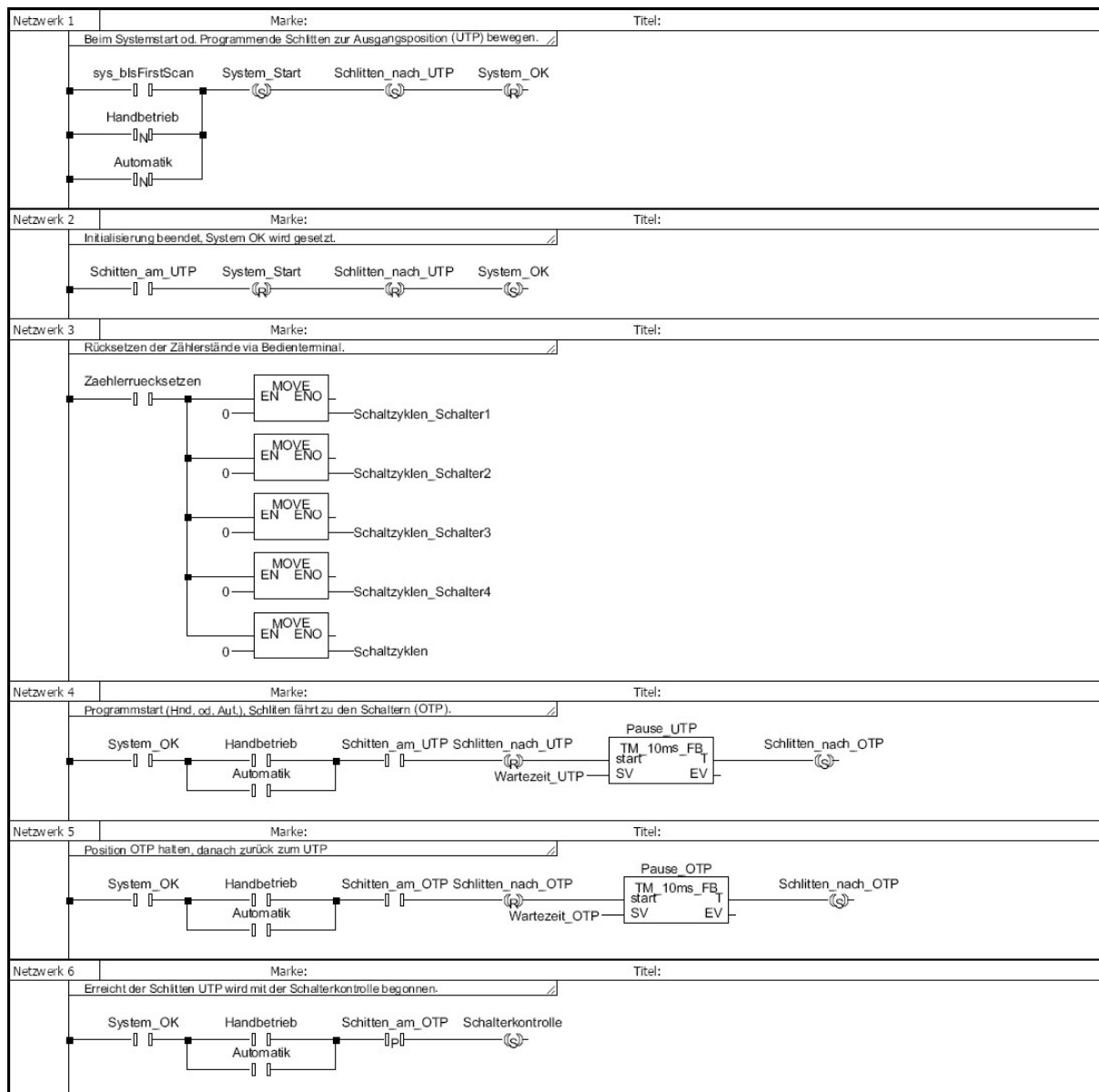
Klasse	Bezeichner	IEC-Adresse	FP-Adresse	Typ	Initial
VAR_GLOBAL	Automatik	%MX0.3.1	R31	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Entprellzeit	%MW5.611	DT611	INT	10
VAR_GLOBAL	Handbetrieb	%MX0.3.0	R30	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Schalter1	%MX0.5.6	R56	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Schalter2	%MX0.5.7	R57	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Schalter3	%MX0.5.8	R58	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Schalter4	%MX0.5.9	R59	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Schalterkontrolle	%MX0.5.1	R51	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Schitten_am_OTP	%MX0.5.5	R55	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Schitten_am_UTP	%MX0.5.2	R52	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Schlitten_am_UTP	%MX0.5.0	R50	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Schlitten_nach_OTP	%QX0.1	Y1	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Schlitten_nach_UTP	%QX0.0	Y0	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	System_OK	%MX0.5.4	R54	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	System_Start	%MX0.5.3	R53	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL	Wartezeit_OTP	%MW5.612	DT612	INT	50
VAR_GLOBAL	Wartezeit_UTP	%MW5.613	DT613	INT	50



VAR_GLOBAL	Zaehlerruecksetzen	%MX0.3.2	R32	BOOL	FALSE
VAR_GLOBAL_RETAIN	Gesamtzyklen	%MD5.6130	DDT6130	DWORD	0
VAR_GLOBAL_RETAIN	Schaltzyklen	%MD5.6120	DDT6120	DWORD	0
VAR_GLOBAL_RETAIN	Schaltzyklen_Automatik	%MD5.6122	DDT6122	DWORD	0
VAR_GLOBAL_RETAIN	Schaltzyklen_Schalter1	%MD5.6112	DDT6112	DWORD	0
VAR_GLOBAL_RETAIN	Schaltzyklen_Schalter2	%MD5.6114	DDT6114	DWORD	0
VAR_GLOBAL_RETAIN	Schaltzyklen_Schalter3	%MD5.6116	DDT6116	DWORD	0
VAR_GLOBAL_RETAIN	Schaltzyklen_Schalter4	%MD5.6118	DDT6118	DWORD	0

Tabelle 7, Liste der globalen Variablen

### 5.2.3 Programmlisting SPS



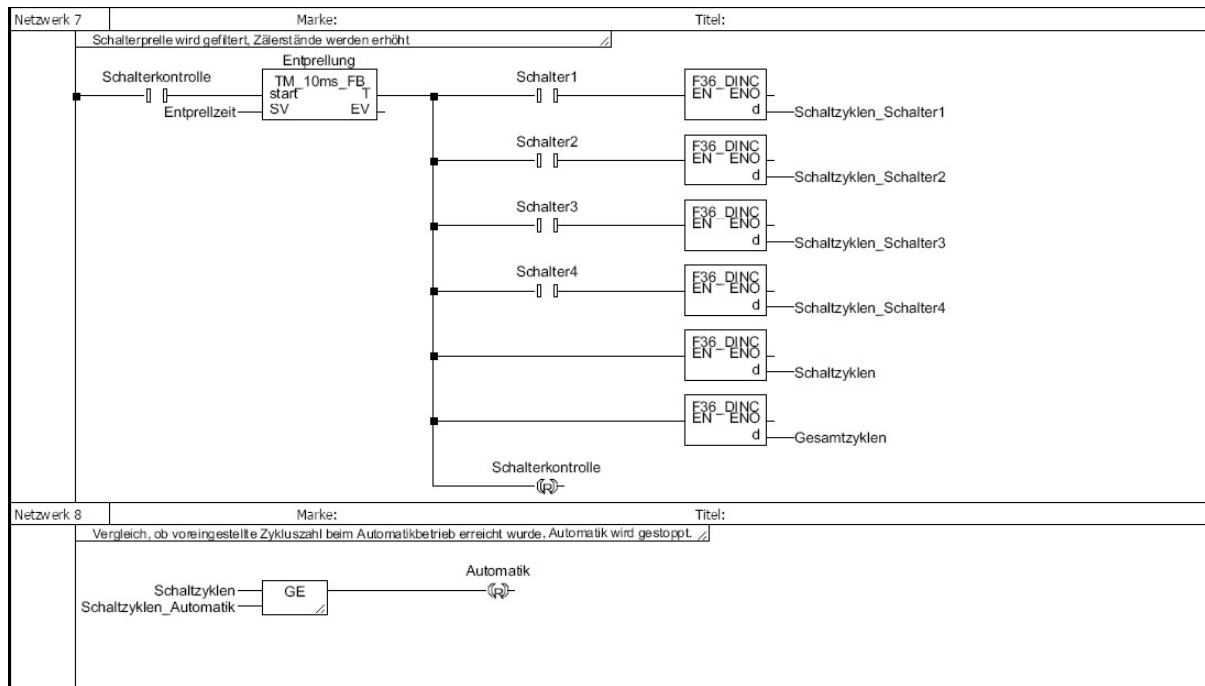


Abbildung 14, Programmlisting Kontaktplan

## 5.3 Linearantrieb

Eine Lösung der oben erwähnten Probleme ist der Umbau weg von einem pneumatischen Antrieb hin zu einem elektrischen Linearantrieb. Einfache elektrische Linearantriebe bestehen aus einem rotierenden Motor und einem Getriebe, welches die Rotationsbewegung in eine Translationsbewegung umsetzt. Diese Systeme gelten als technisch ausgereift, weit verbreitet, sind kostengünstig in der Anschaffung und es können damit große Stellwege und große Kräfte erreicht werden. Die gewünschten Geschwindigkeiten sind einfach zu berechnen aber doch schwer regelbar, womit wir bei den Nachteilen angelangt wären. Vor allem bei langsamen Vorschubgeschwindigkeiten kann es zu einer ruckartigen Bewegung kommen, dem so genannten „Stick-Slip-Effekt“. Auch ist eine exakte Positionierung eher schwer zu realisieren. Als größter Nachteil stellte sich jedoch die beschränkte Lebensdauer heraus.

Die beste Lösung ist zweifelsohne ein elektrischer Antrieb nach dem Tauschspulenprinzip. Hierbei sind ebenfalls große Stellwege und große Kräfte realisierbar, auch lassen sich hohe Geschwindigkeiten und unterschiedliche Beschleunigungen leicht regeln und die Positionen sind exakt anzufahren. Der größte Vorteil, neben der langen und wartungsfreien Lebensdauer, ist die

Messbarkeit der Kräfte über den gesamten Verlauf. Somit können sämtliche Parameter der Schalter (siehe 3.2 Kräfte auf den Betätiger und 3.1 Positionen des Betätiger) protokolliert werden.

Die Funktionsweise des von der Firma „SMC“ hergestellten „Moving Coil Actuators SMAC“ ist mit der eines Lautsprechers vergleichbar und beruht auf dem Prinzip der Lorentzkraft, also der Kraft, die auf eine in einem Magnetfeld bewegte elektrische Ladung wirkt. In unserem Fall ist innerhalb zweier Hochleistungsmagneten eine um einen rechteckigen Eisenkern gewickelte Spule angeordnet. Wird an die Spule eine Spannung angelegt, wirkt eine axiale Kraft auf den Spulenkörper, der diese aus dem feststehenden Magnetteil drückt. Die entstehende Kraft ist direkt proportional zum angelegten Strom, die Regelung somit denkbar einfach.

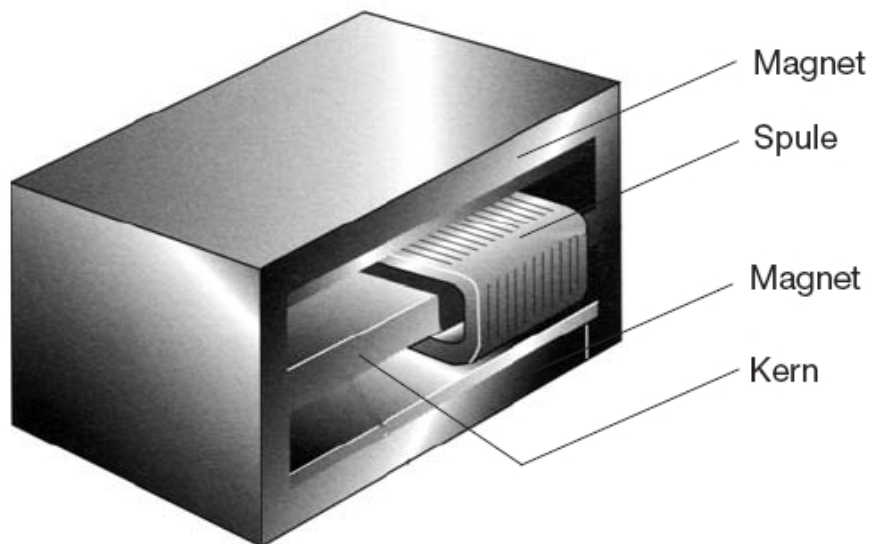


Abbildung 15, Schematische Darstellung Linearantriebe

Quelle 5, Datenblatt Fa. SMC: D801- D/CH, 01/06 Pb10/switzerland, S.8

## 5.4 Elektrischer Aufbau

Wie auch immer die zur Prüfung herangezogenen Schalter betätigt werden, sei es nun mittels einfacher Rotationsbewegung oder mit exaktem Linearantrieb, ist ein gewisser Schaltungsaufwand in jedem Fall gegeben. Zunächst muss man sich Gedanken über die Schutzschaltung des Prüfstandes selbst machen und entsprechende Sicherungen vorsehen. Des Weiteren ist ein Not-Aus-Schalter, der

die ganze Anlage zum Stillstand bringt, und zusätzlich aber auch ein Abschalten der Anlage vom Programm aus vorgesehen. Realisiert wurde dies mit einem Hilfsrelais und einer Selbsthalteschaltung.

Nun unterscheiden wir zwischen dem Lastkreis, der die Schalter mit der zu prüfenden elektrischen Last beaufschlagt und dem Messkreis, bei dem die aufgetretenen Schaltspiele, Ströme und Spannungen erfasst werden. Die Leitungen des Lastkreises müssen sauber verkabelt sein, weil es darf auf keinen Fall aufgrund schlechter Kontaktwiderstände zu einer Wärmeentwicklung an den Klemmstellen kommen darf. Ein Relais mit zwangsgeführten Kontakten verbindet die Anschlüsse des Schalters mit der Last selbst. Angesteuert wird dieses Relais direkt von den Ausgängen der Steuerung.

### 5.4.1 Lastkreis mit regelbarem Labornetzteil

Auf lastseitige Sicherungen wurde verzichtet, weil die Prüflast ja über ein regelbares Labornetzteil versorgt und geregelt wird. Das Netzteil SDP2405 des Herstellers „Manson“ verfügt über eine Serielle Schnittstelle (RS232) und wird mit passenden Treibern für LabVIEW ausgeliefert, was eine Bedienung über das programmierbare Frontpanel in einer intuitiven Art und Weise ermöglicht. Mit diesem Netzteil können Spannungen von 1VDC bis 40VDC bei einer Stromstärke von bis zu 5A bereitgestellt werden. Dies deckt die meisten Anforderungen im Signalbereich ab. Für größere Leistungen muss dann in gegebenen Fall doch auf herkömmliche Netzteile zurückgegriffen werden.

### 5.4.2 Erfassung des Laststroms

Für die Erfassung des Prüfstroms fiel die Entscheidung auf eine Messung nach dem Hall-Prinzip, konkret eine Type des Herstellers „Raztec“. Diese nutzen die Tatsache, dass ein stromdurchflossener Leiter ein Magnetfeld proportional zum Strom um sich aufbaut. Fließt Strom durch den Hallsensor, lässt sich damit die magnetische Feldstärke bestimmen. Diese Sensoren eignen sich perfekt zur potentialfreien Messung von Strömen.

### 5.4.3 Erfassung der Spannung

Die Spannung über dem geschlossenen Kontakt wird mit einem voll isolierten Spannungssensor ermittelt. Die Isolierung ist auf 240V spezifiziert, so ist eine Schutzbeschaltung für die Eingänge nicht notwendig. Dies erhöht nicht nur die Mess- und Zykluszeiten, auch die Zuverlässigkeit und die Störanfälligkeit des Prüfstands wird somit erhöht. Diese galvanische Trennung hat auch einen weiteren Vorteil, denn somit lassen sich Störungen im Messaufbau verhindern. Bei der Auswahl des Spannungssensors wurde eine Type ausgewählt, die bei einem Spannungseingang von  $\pm 1V$  eine Ausgangsspannung von  $\pm 5V$  liefert. Somit kann die Auflösung des Spannungssignals deutlich erhöht werden. Der Spannungsbereich von gerade einem Volt reicht bei einem Netzteil mit 5 Ampere, um Kontaktwiderstände bis  $200m\Omega$  zu ermitteln. Typische Kontaktwiderstände liegen nach 100.000 Schaltspielen zwischen  $100m\Omega$  und  $200m\Omega$ .

## 6 Prüfstand mit Linearantrieb nach dem Tauchspulenprinzip

Bei den bisherigen Ausführungen des Schalterprüfstands gab es immer wieder Probleme, die über die oft zitierten Kinderkrankheiten hinausgingen. Bei der ersten Ausgabe mit Wechselstrommotor und Nockenwelle war der mechanische Verschleiß das größte Problem. Bei der Anlage mit pneumatisch betätigtem Zylinder war die Regelung der Betätigungsgeschwindigkeit das Problem. Wurde mittels Ventil die Luftmenge reduziert, war die Geschwindigkeit am Schalter passend, die Testabläufe selbst sprengten meist jeden Zeitrahmen. Bei höherer Geschwindigkeit kam es oft zu einer mechanischen Zerstörung der Schalter. Auch konnte nicht exakt auf die Kundenanforderungen eingegangen werden. Der aktuelle Prüfstand mit elektrischem Linearantrieb nach dem Tauchspulenprinzip lässt keine Wünsche offen. Wir entschieden uns beim Antrieb für die Type LAL-35-050-55-F des Herstellers SMC. Mit diesem Linearantrieb lassen sich Momente von bis zu 10 Newton bei einem maximalen Hub von 50mm erzeugen. Die Ansteuerung erfolgt über einen Kontroller der Type LAC-25. Damit lassen sich sämtliche Parameter wie Geschwindigkeit, Beschleunigung, Kraft und Position des Schlittens frei wählen.

Die Bedienung erfolgt über ein in einem 19 Zoll Verteilerschrank eingebautes, 17 Zoll großes, Touchdisplay mit einer SXGA-Auflösung von 1280x1024 Bildpunkten. Die Steuerung übernimmt ein Industrie-PC mit 3GHz-CPU, 1GB Hauptspeicher und einer 400GB Festplatte. Da der PC auch über einen LAN-Anschluss verfügt, ist die Bedienung von jedem Arbeitsplatz im Firmennetzwerk möglich. Dies erlaubt es, regelmäßig einen Blick auf den aktuellen Status des Tests zu werfen. Zu einem sauberen Gesamtbild verhelfen die beiden ausziehbaren Geräteböden, auf denen sich die Prüflasten, das Netz und der Antrieb samt Steuereinheit platzieren lassen. Die Kabel werden über Schleppketten geführt.

### 6.1 Ansteuerung des Linearantriebs

Die Lösung eines Linearantriebs nach dem Tauchspulenprinzip setzt sich aus dem Antrieb selbst und einem Kontroller, der die Steueraufgabe des Antriebes übernimmt, zusammen. Die Programmierung und Feineinstellung übernimmt ein PC

mit serieller Schnittstelle (RS232). Danach arbeitet das Programm im Kontroller autark und die Verbindung ist nicht mehr notwendig, weil der Programmcode in einem nichtflüchtigen RAM gespeichert wird. Die Befehle können in jedem beliebigen Standardtexteditor erstellt werden, die Datei mit der Endung \*.TXT kann dann per Terminalprogramm an den Kontroller gesendet werden.

Der Aufbau des Codes ist dem eines Assemblercodes sehr ähnlich. Die Kommandos bestehen aus zwei Buchstaben, denen auch Zahlen folgen können, einzelne Befehle werden durch einen Beistrich getrennt, mehrere davon in einer Zeile als Makro bezeichnet. Ein Programm kann aus bis zu 256 Makros bestehen. Die Makros werden der Reihe nach ausgeführt, aber natürlich sind Unterprogramme, Verzweigungen oder Sprungbefehle möglich. Es können folgende Funktionen implementiert werden:

- Makro Definition
- Arbeitsmodus
- Rechenoperation
- Steuerung der Ein- und Ausgänge
- Systemzustände
- Absolute und relative Bewegungsabläufe
- Logische Verknüpfungen

Als Beispiel könnte folgender Ablauf dienen:

**MD10,QM,M1,SQ10000,MJ20**  
**MD20,WA1000,MF**

Befehl	Beschreibung
MD10	Makro Definition auf 10
QM	Kraftmodus
MN	Motor EIN
SQ10000	Setze Kraft auf 10000
MJ20	Sprung auf Makro 20
WA	Warte
MF	Motor AUS

Tabelle 8, Bedeutung des Programmbeispiels

Der Antrieb kann über drei unterschiedliche Modi angesteuert werden:

- Positionsmodus (Position mode) FM
- Geschwindigkeitsmodus (Velocity mode) VM
- Kraftmodus (Force mode) QM

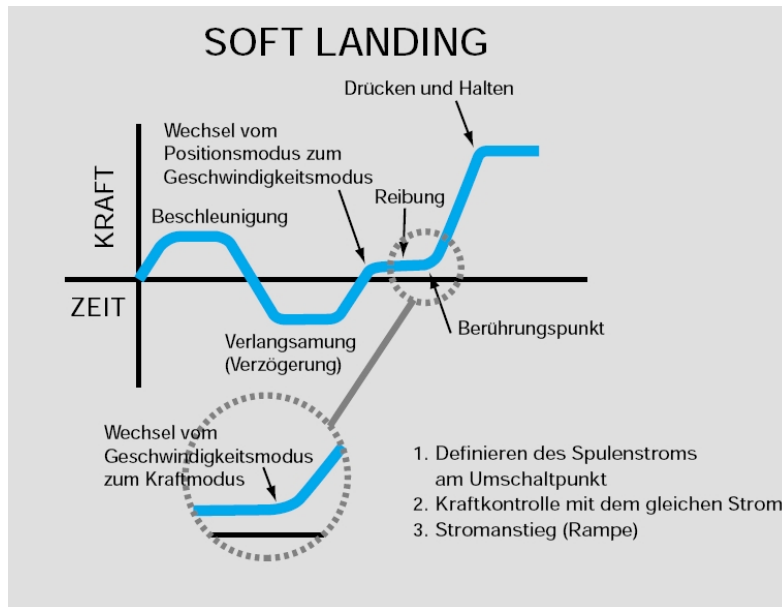


Abbildung 16, Arbeitsmodi

Quelle 6, Datenblatt Fa. SMC: D801- D/CH, 01/06 Pb10/switzerland, S.7

### 6.1.1 Positionsmodus

In diesem Modus kann der Antrieb verschiedene Positionen entlang der Strecke anfahren. Dies kann absolut (MA – Move Absolute) oder relativ (MR – Move Relative) definiert werden. Es ist auch möglich, dass bestimmte Positionen eingelernt (LP[Nr.] – Learn Position) und in weiterer Folge danach wieder angefahren werden (MP[Nr.] – Move Position).

MR1000 würde nun bedeuten, dass sich der Antrieb um 1.000 Schritte nach vorne bewegen soll. Unser Encoder hat eine Auflösung von  $5\mu\text{m}$ , somit bewegt sich der Schlitten  $1.000 \times 5\mu\text{m} = 5.000\mu\text{m}$ .



### 6.1.2 Geschwindigkeitsmodus

Der Geschwindigkeitsmodus (VA – Velocity Mode) kann dem Antrieb die Geschwindigkeit (SV – Set Velocity), die Beschleunigung (SA – Set Acceleration), die Kraft (SQ – Set torque) und die Richtung (DI – Direction) vorgeben. Eine typische Anwendung ist die so genannte „softland“ Routine. Dabei bewegt sich der Schlitten mit einer vorgegebenen Kraft auf ein Hindernis.

### 6.1.3 Kraftmodus

Der Kraftmodus kann auf zwei unterschiedliche Arten betrieben werden. Es besteht mit dem Befehl QM0 die Möglichkeit, dass sozusagen eine offene Schleife realisiert wird. Dabei wird die aktuelle Position sehr wohl ausgelesen, jedoch hat diese keinen Einfluss auf den Ausgang. Genauer funktioniert solch ein System mit dem Befehl QM1. Dabei wird der analoge Eingang als Rückmeldung verwendet. Der Strom durch die Spule des Antriebs entspricht der Kraft auf das Gestänge.

## 6.2 Benutzeroberfläche der aktuellen Prüfeinrichtung

Mit der Umstellung weg von einer Lösung mit Pneumatikzylinder und hin zur Realisierung mit elektrischem Linearantrieb ergaben sich überraschenderweise mehr Möglichkeiten, als man anfangs erwartet hätte. Vor allem der Kraftmodus mit Rückführung der vom Schlitten aufzuwendenden Kraft ist ein mehr als hilfreiches Feature. Damit lassen sich die in Kapitel 3 beschriebenen Schaltepunkte exakt bestimmen (siehe dazu 3.1 Positionen des Betätiger). Ebenfalls sind somit die Kraft- und Wege- Verhältnisse ermittel- (siehe dazu 3.2 Kräfte auf den Betätiger und 3.3 Wege des Betätigers) und auch grafisch darstellbar. Diese Vielzahl an Möglichkeiten brachte uns auf die Idee, nicht einfach das Programm per Terminalprogramm in den Controller zu speichern, sondern eine Bedienung mit grafischer Oberfläche, Industrie-PC und einem Programm basierend auf der Prüf-, Mess-, Steuer- und Regelsoftware LabVIEW aus dem Hause National Instruments zu realisieren.

### 6.2.1 Hauptmenü

Das Programm öffnet beim Start das Hauptmenü, von wo aus man in weiterer Folge in die drei Unterprogramme wechseln kann.

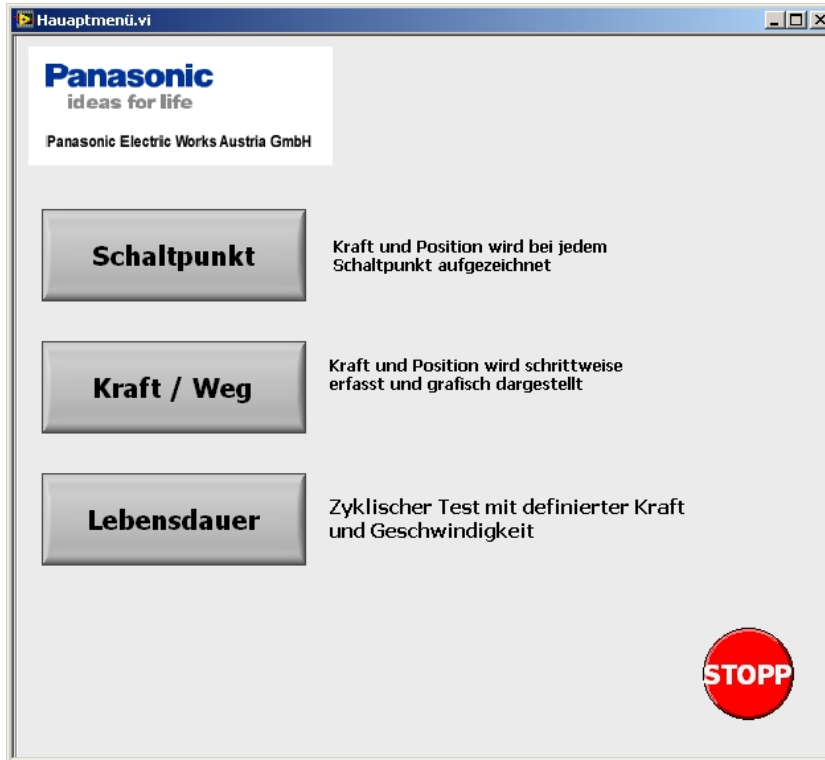


Abbildung 17, Hauptmenü

## 6.2.2 Bestimmung der Schaltpunkte

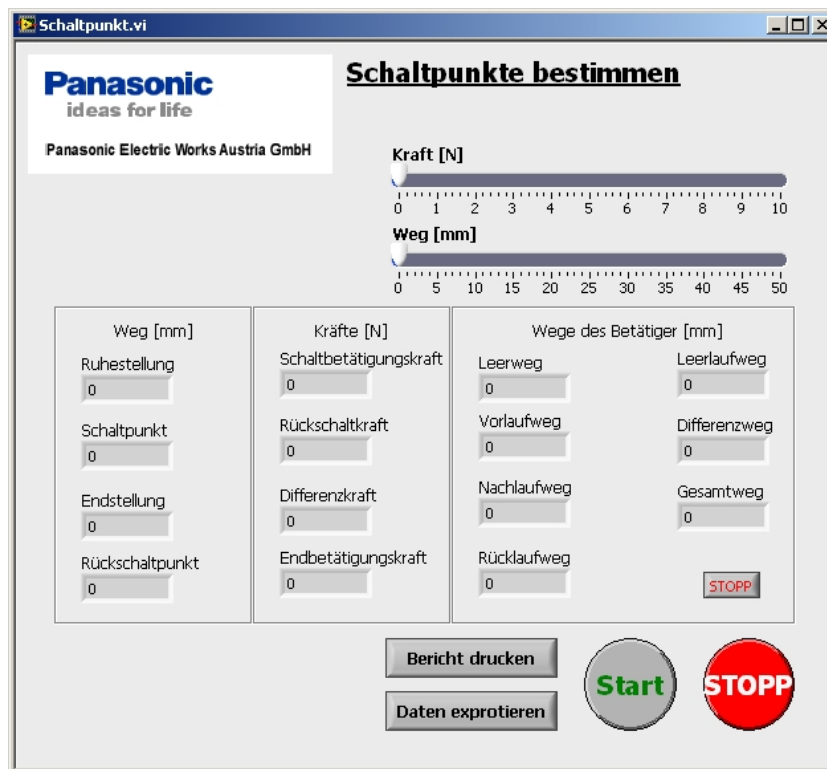


Abbildung 18, Programm zur Bestimmung der Schaltpunkte

Nachdem der Startknopf angeklickt wird, fährt der Schlitten im Kraftmodus von der Ausgangsposition in Richtung oberer Totpunkt. Der Schlitten überbrückt zunächst einen Leerweg und erreicht die Ruhestellung. Der Kraftaufwand wird ab nun größer und erreicht am Schaltpunkt den vorläufig höchsten Wert. Ab nun beginnt der Nachlaufweg, der Kraftaufwand fällt schlagartig ab, steigert sich aber gleich wieder und erreicht an der Endstellung den größten Wert. Der Schlitten kann nun wieder zurück zum unteren Totpunkt zurückkehren und die erfassten Werte sind in den Feldern abzulesen oder können in tabellarischer Form ausgedruckt werden. Ein Exportieren der Werte als \*.SCV-Datei wurde ebenfalls realisiert. Während des Programmablaufs können die Werte für Kraft und Weg jeweils an einem Schieber am Monitor grafisch dargestellt werden.

### 6.2.3 Grafische Darstellung Kraft / Weg

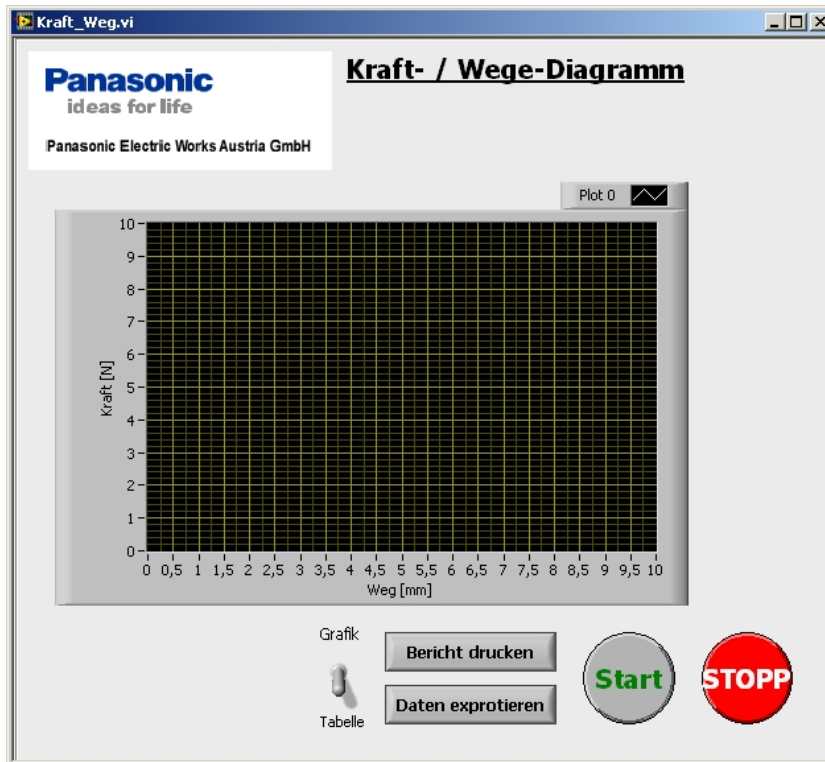


Abbildung 19, Grafische Darstellung von Kraft und Weg

Bei dieser Prüfung wird der Gesamtweg vom unteren Totpunkt weg durchlaufen, um die Punkte Ruhestellung und Endpunkt zu bestimmen. Sind diese Punkte erfasst, wird ab der Ruhestellung der Gesamtweg des Schalters schrittweise durchlaufen. Für jede Position wird die für das Halten der Position benötigte Kraft in einem Datenfeld gespeichert und am Ende grafisch dargestellt. Das erstellte Diagramm kann für Protokollzwecke ausgedruckt werden, ein Speichern kann sowohl als Bilddatei als auch als \*.SCV-Datei erfolgen.

Bei Schnappschaltern ist hier der typisch sprunghafte Kräfteverlauf, aber auch die Hyterese zwischen schließen und wieder öffnen des Kontaktes erkennbar. Bei Schaltern mit Schleifkontakten ist über den Gesamtweg ein annähernd linearer Kräfteverlauf sichtbar, aus dem sich sogar die Federrate abschätzen lässt.

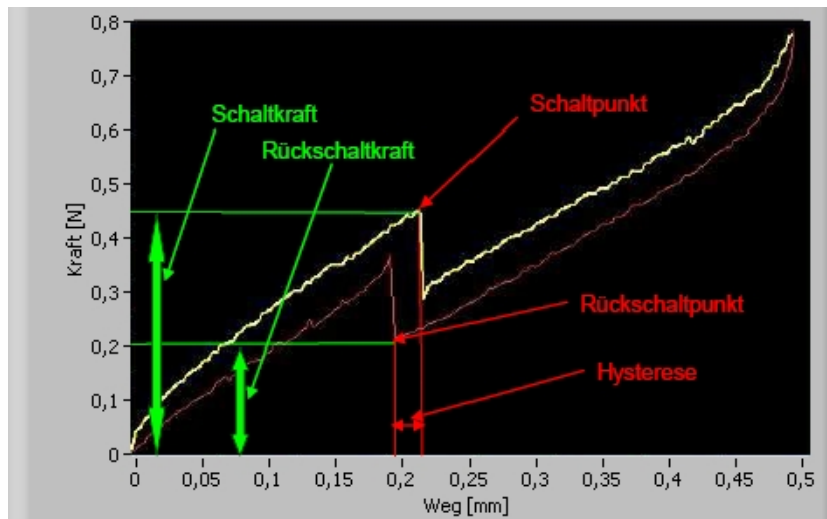


Abbildung 20, Kraft- / Wegediagramm bei einem Schnappschalter

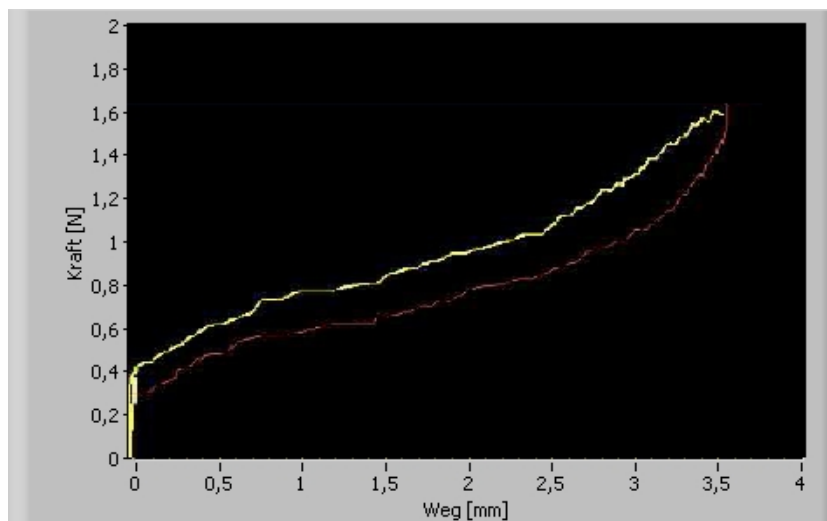


Abbildung 21, Kraft- / Wegediagramm bei Schalter mit Schleifkontakt

## 6.2.4 Lebensdauer

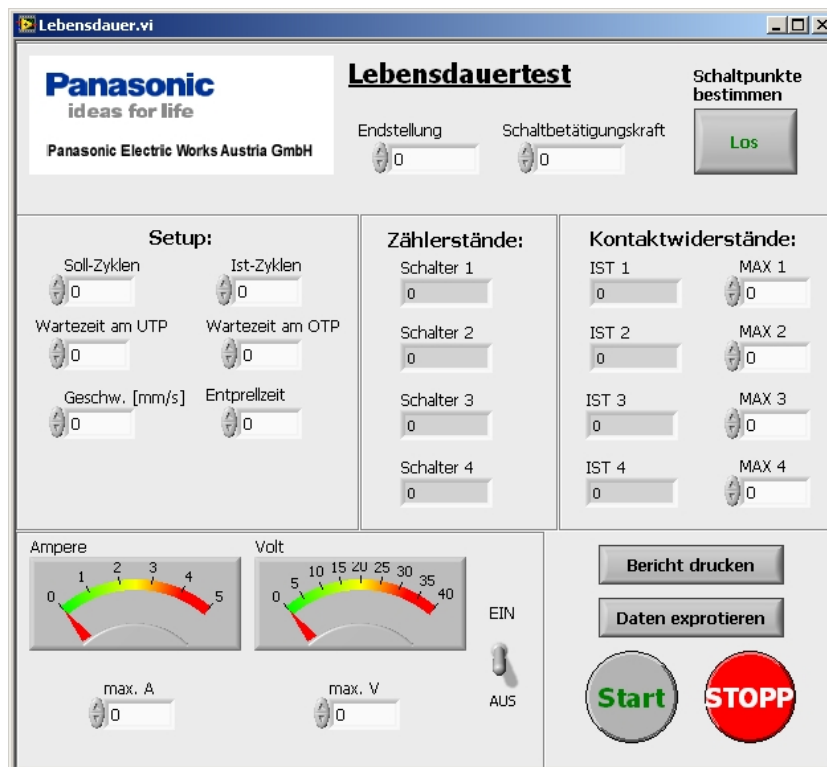


Abbildung 22, Lebensdauertest

Der Ablauf des Lebensdauertestes selbst unterscheidet sich kaum von dem im Abschnitt 5.2.1 beschriebenen Ablauf. Der feine Unterschied besteht darin, dass zunächst die im Abschnitt 6.2.2 beschriebene Bestimmung der Schaltpunkte durchlaufen wird. Ein weiterer Unterschied ist die Anpassung der Betätigungsgeschwindigkeit.

Einen Meilenstein stellt jedoch die Überwachung der Kontaktwiderstände dar. Es kann, und das ist vor allem bei einer Untersuchung von Signalschaltern entscheidend, ein maximal zulässiger Kontaktwiderstand angegeben werden. Somit kann im Endbericht der Verlauf des Widerstands während der gesamten Prüfung, aber auch die Anzahl der Schaltzyklen bis zum Erreichen des Grenzwertes, dokumentiert werden.

Als überaus nützlich hat sich das regelbare 200-Watt-Netzgerät für den Lastkreis herausgestellt. Es lassen sich damit die Werte für Strom und Spannung über eine serielle Schnittstelle regeln. Es wurden zwei Zeigermessgeräte in das Frontpanel für die aktuellen Werte implementiert, über Eingabefelder lassen sich die Obergrenzen

definieren. Mittels Kippschalter kann die Energiezufuhr zur Last völlig getrennt werden.

### 6.3 Überwachung des Stroms über den Kontakt

Der tatsächliche fließende Strom über den Kontakt wird mit Stromsensoren erfasst und daraus der Kontaktwiderstand errechnet. Im Folgenden wird der Ablauf des LabVIEW Programms beschrieben.

Der DAQ Assistent (Daten Akquirierungs- Assistent) bedient die an die USB-Schnittstelle angeschlossenen USB Multifunktions- Eingabe / Ausgabe Karte von National Instruments (Modell NIUSB 6009). In diesem DAQ werden die analogen Signale für die Versorgungsspannung und die Signalspannung des Stromsensors mit einer Abtastfrequenz von 10kHz erfasst und zur weiteren Berechnung weiter verarbeitet. Es werden zwei Kanäle benötigt.

Der erste Kanal dient zur Berechnung des Null-Offset. Dazu wird die Versorgungsspannung, in unserem Fall 5V, halbiert und von der Signalspannung abgezogen. Der hiermit ermittelte Wert wird mit einer dem Datenblatt entnommenen Umrechnungskonstante dividiert. In unserem Fall gibt das Datenblatt den Quotienten 0,102 an. Als Ergebnis erhalten wir den Strom, der über unseren Schalter und unsere Last fließt. Für unsere Untersuchung ist die Richtung des Stroms nicht von Bedeutung, somit verarbeiten wir in weiterer Folge nur noch den Betrag des Ergebnisses.

Aus diesem Stromsignal generieren wir einen Trigger, also ein boolsches Signal, dass uns die Information über das Schließen der Kontakte gibt. Um den nachfolgenden Trigger sicherer auswerten zu können, werden die Stromspitzen mittels eines Filters geglättet. Dieser Trigger benötigt eine Reihe von Eingangssignalen:

- Das Ansprechlevel gibt den Schwellwert an, der vom Eingangssignal überschritten werden muss, damit ein Trigger erkannt wird
- Hysterese gibt das Level an, über und unter das ein Eingangssignal gehen muss, damit ein erneuter Trigger ausgelöst werden kann. Hiermit wird ein unerwünschtes Auslösen bei Signalrauschen verhindert.

Die Last über den Schaltern wird mit einer Spannung von 13 Volt versorgt. Unsere Messkarte ist jedoch nicht für diesen Spannungsbereich ausgelegt. Um die Spannung der Last an die Spannung der Messkarte anzupassen, wird der Spannungsabfall am geschlossenen Kontakt nach dem Detektieren des Triggersignals gemessen. Weiters wurde auch eine Schutzbeschaltung mittels zweier Zehnerdioden und zweier 1k-Ohm Widerstände realisiert. Falls ein Trigger detektiert wurde, wird über eine Case Struktur ein Unterprogramm gestartet, welches die Spannung am geschlossenen Schalterkontakt misst. Dieses Unterprogramm besteht aus einer gestapelten Sequenzstruktur.

Trigger = 0 bedeutet, die Sequenz wird nicht ausgeführt.

Trigger = 1 Struktur wird wie folgt Schritt für Schritt abgearbeitet:

1. Das Relais der Type TQ2-24 auf der Platine wird mit 5V versorgt, Kontakte für den Messkreis werden geschlossen.
2. Es werden drei unterschiedliche Spannungen ermittelt
  - a. Der Spannungsabfall am geschlossenen Schalterkontakt  $U_K$ .
  - b. Die Versorgungsspannung  $U_V$  des Stromsensors (wir hätten uns diese Spannung aus der vorhergehenden Messung behalten können. Bei Spannungsschwankungen wäre jedoch das Messergebnis nicht korrekt).
  - c. Die Signalspannung  $U_S$  des Stromsensors im Verhältnis zum Laststrom über den Kontakt.
3. Die 5V zum TQ2-24 Relais werden getrennt.

Der Stromverlauf wird von einem Baustein „Amplitude und Pegelmessung“ erfasst. Es ist sowohl die Höhe der Amplitude als auch der Spitze zu Spitze-Wert von Interesse. Die Ausgabe erfolgt später außerhalb der Messschleife, die hiermit endet. Aus der Schleife führen drei vorher beschriebene Spannungen. Aus Versorgungsspannung  $U_V$  und Signalspannung  $U_S$  wird über die anfangs erwähnte Umrechnung über eine Konstante der Strom über den Schalterkontakt  $I_K$  errechnet. Mit dem Spannungsabfall  $U_S$  am geschlossenen Schalterkontakt errechnet sich der ohmsche Widerstand der geschlossenen Kontakte.

$$R_K = \frac{U_K}{I_K}$$

Dieser Widerstand  $R_K$  wird in weiterer Folge mit dem „Express VI“ Statistik bearbeitet. Es werden 1.000 Ergebnisse aufsummiert und der arithmetische



Mittelwert übergeben. Weiters werden die Standardabweichung, der maximale Wert sowie der minimale Wert weiterverarbeitet. Auch sollen die gesammelten Werte für Protokollzwecke einem Datenexport zugeführt werden.

## 7 Statistische Auswertung von Prüfergebnissen

Die Anforderung an unseren Schaltertester wird in erster Linie vom Kunden bestimmt. Fakt ist, dass sowohl die im Datenblatt als auch die in den Normen festgelegten Werte bei keiner Anwendung zum Tragen kommen. Unsere Aufgabe ist es, die Kundenanforderung nachzubilden und anhand weniger Prüfmuster eine Aussage auf die Zuverlässigkeit des gesamten Los zu treffen. Praktisch werden die Prüfmuster mit der vom Kunden definierten Last bis an das Lebensende der Schalter getestet. Hierbei ist es von Bedeutung, dass die Muster wie bereits erwähnt auch tatsächlich ausfallen und die dabei vollzogenen Schaltspiele dokumentiert werden. In den Datenblättern wird sowohl die mechanische als auch die elektrische Lebensdauer angegeben. Typische Werte für einen Mikroschalter der Serie ABJ sind 30.000 Schaltspiele elektrisch und 100.000 mechanisch. Wie man sieht, ist die elektrische Beanspruchung auf die Kontakte viel größer als die mechanische Beanspruchung. Aus diesem Grund testen wir nicht nur ob der Schalter tatsächlich schließt, sondern wir ermitteln auch den Kontaktwiderstand. Der Kontaktwiderstand bei Schaltern der Serie ABJ wird im Datenblatt mit maximal 50m $\Omega$  angegeben. Ab wann ein Kontaktwiderstand zu hoch ist, wird vom Kunden vorgegeben. Beim Schalten von Lasten spielt dieser Widerstand eher eine untergeordnete Rolle. Ein zu hoher Widerstand führt zu höheren Temperaturen am Kontakt und in weiterer Folge zum Ausfall des Schalters. Viel kritischer ist der Kontaktwiderstand beim Schalten von Signalen.

### 7.1 Grundbegriffe der Statistik

Als Statistik wird das Teilgebiet der angewandten Mathematik bezeichnet, die sich mit dem Sammeln und Auswerten von Daten befasst. Das Ergebnis einer Statistik soll vor allem objektiv und verlässlich sein, große Datenmengen sollen mit minimalem Informationsverlust möglichst anschaulich dargestellt werden, das Ganze mit möglichst geringem Versuchsaufwand.

Zuvor sollten später verwendete Begriffe näher erläutert werden.

- Als Einheit werden materielle oder immaterielle Gegenstände betrachtet. Dies können Einzelteile, ein Paar, eine Schachtel, ein Schalter, der Inhalt einer Flasche, usw. sein.
- Die Grundgesamtheit (Population) stellt alle in Betracht gezogenen Einheiten dar. Das wären dann alle in der Fabrik erzeugten Schalter, der Inhalt aller an einem Tag abgefüllten Flaschen, usw.
- Als Los bezeichnet man die Menge an Einheiten der Grundgesamtheit, die unter gleichen Bedingungen entstanden und als einheitlich anzusehen sind. In unserem Beispiel das Fertigungslos aller, in der Woche 44/08 gefertigten Schalter, das Lieferlos der heute angelieferten Flaschen, usw.
- Als Stichprobe bezeichnet man eine oder mehrere Einheiten, die aus der Grundgesamtheit oder einem Los gezogen wurden. Der Umfang einer Stichprobe stellt die Anzahl der Einheiten einer Stichprobe dar.
- Als Merkmal werden die Eigenschaften, die das Unterscheiden von Einheiten möglich machen, bezeichnet. Es kann sich dabei sowohl um qualitative (Güteklasse, Beruf, Farbe) als auch um quantitative (Anzahl der Fehler, Messwerte) Merkmale handeln. Die Merkmale haben in der Regel auch einen Wert, den so genannten Merkmalswert. Beim qualitativen Merkmal könnte das Güteklasse A, Ingenieur, rot, usw. bedeuten.

Die Statistik dient der Erfassung und Analyse von Daten. Es darf jedoch die unvermeidliche Unschärfe, verursacht durch zufällige Schwankungen und Fehler, nicht außer Acht gelassen werden. Grundsätzlich werden folgende Teilbereiche unterschieden:

- Die deskriptive (beschreibende) Statistik stellt die gesammelten Daten meist in tabellarischer oder grafischer Form dar und soll komplexe Sachverhalte übersichtlich darstellen. Die Fülle an Daten wird auf wenige, einfache Maßzahlen reduziert. Die deskriptive Statistik hilft bei der Beschreibung, der Strukturierung und der Verdeutlichung von unübersichtlichen und umfangreichen Datenmaterial. Man kann sie auch als das direkte Instrumentarium zur Beschreibung, aber auch als Vorstufe der Datenanalyse bezeichnen.
- Die analytischen (beurteilende, mathematische oder induktive) Statistik untersucht aus einer großen Menge an Daten nur eine gewisse Stichprobe

und beschreibt dann aufgrund von Wahrscheinlichkeitsrechnungen die Grundgesamtheit. Die Stichprobe wird herangezogen um Rückschlüsse auf das Los, aber auch auf die Grundgesamtheit zu ziehen.

- Die explorative (forschende oder hypothetische) Statistik, also eine Kombination aus deskriptiver und analytischer Statistik, gewinnt zunehmend an Bedeutung. Es werden dabei Methoden der mathematischen Statistik zur Datenanalyse herangezogen und mittels deskriptiver Statistik zur Erstellung von Hypothesen herangezogen.

Quelle 7, Hartung, Statistik S.15ff

Mit Hilfe von Stichprobenkenngrößen, auch statistischen Maßzahlen genannt, werden die Eigenschaften der Stichprobenverteilung dargestellt. Diese Stichprobenkenngrößen sind Funktionen der Beobachtungswerte, sie charakterisieren also die Eigenschaften der jeweiligen Häufigkeitsverteilung. Kenngrößen der Lage dienen zur Darstellung einer Verteilung auf der Merkmalskala. Mit der Kenngröße der Streuung wird dargestellt, wie weit die einzelnen Messergebnisse um ein bestimmtes Messergebnis verteilt sind. Die am häufigsten verwendeten Kenngrößen sind:

- Der arithmetische Mittelwert: Quotient aus der Summe der Messergebnisse und der Anzahl der Messergebnisse.
- Der Zentralwert (Median): Man ordnet die Ergebnisse nach der Größe und betrachtet nur den Wert in der Mitte der Liste.
- Als Maß für die Streuung wird oft die Spannweite, also die Differenz zwischen dem kleinsten und dem größten Wert betrachtet.
- Die Standardabweichung gibt an, wie weit die Einzelwerte vom arithmetischen Mittelwert abweichen und ist somit auch ein Maß für die Abweichung der Einzelwerte untereinander. Oft wird auch die Varianz angegeben, sie entspricht dem Quadrat der Standardabweichung.
- Der Vertrauensbereich oder die Aussagewahrscheinlichkeit gibt bei einer Stichprobe an, wie nahe ein Ereignis an allen betrachteten Einheiten liegt. Dieser Bereich ist in der Regel zwischen 5% und 95%.

Quelle 8, Schärf, Mathematik Band 2 S.274ff und Band 3 S.254ff

## 7.2 Voraussagbarkeit des Eintretens eines Ereignisses

Neben der Statistik ist auch die Wahrscheinlichkeitstheorie ein Teil der Stochastik und befasst sich im Wesentlichen mit der Interpretation zufälliger Ereignisse. Als Ereignis kann das Ergebnis eines Versuchs, aber auch ein bestimmtes Verhalten eines Systems betrachtet werden. Die Wahrscheinlichkeit selbst wird als Quotient aus der Anzahl der Ereignisse und der Anzahl der möglichen Ereignisse gebildet. Enthält das System eine gewisse Zufallsgröße, so wird oft ein Erwartungswert angegeben. Dabei handelt es sich um den Mittelwert der zu erwartenden Ergebnisse. Die Varianz gibt dann die Abweichung von eben diesem Erwartungswert an. Kann die Zufallsvariable in einem Intervall alle Werte annehmen, wird diese als stetige Zufallsvariable bezeichnet.

Die Ergebnisse von Wahrscheinlichkeitsrechnungen werden im Allgemeinen anhand folgender Verteilungen dargestellt:

- Die Normalverteilung oder Gaußverteilung ist eine glockenförmige Verteilung einer Wahrscheinlichkeit mit stetiger Zufallsvariable. Als typisches Beispiel dienen Fertigungstoleranzen oder zufällige Messfehler.
- Die Exponentialverteilung ist eine Darstellung der Wahrscheinlichkeitsverteilung zufälliger Zeitintervalle und spiegelt somit typischerweise die Darstellung einer Lebensdauer ermüdungsfreier Systeme wider.
- Eine Lebensdauerkurve mit verschleißabhängiger Konstante wird in Form einer Weibull-Verteilung wiedergegeben.

## 7.3 Die Bewertung von Prüfmustern nach Weibull

Die Anzahl der erreichten Schaltspiele wird im Prüfbericht dokumentiert und statistisch bewertet. Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten, diese Ergebnisse zu bewerten. Wird die Lebensdauer nicht auf Zufall sondern durch den Verschleiß bestimmt, in unserem Fall durch die Anzahl der Schaltspiele, hat sich in der Praxis die Auswertung nach Weibull bewährt.

Die Weibullverteilung bzw. die Darstellung des Weibulldiagramms ist ein Verfahren, um die statistische Zuverlässigkeit darzustellen. Der Name stammt vom schwedischen Mathematiker Waloddi Weibull (1887-1979). Anwendung findet diese

Auswertung vor allem in der Automobilindustrie, bei der Untersuchung von Materialermüdung, aber auch der Untersuchung bei der Lebensdauer von elektronischen Bauteilen, deren Ausfall nicht auf einen Zufall, sondern Infolge von Verschleiß zurück zu führen ist.

Eine bestimmte Menge an Bauteilen wird dabei als Stichprobe über eine bestimmte Zeitdauer auf ihre Fehlercharakteristik untersucht. Die Ergebnisse ergeben dann die Ausfallswahrscheinlichkeit über die Gesamtmenge.

$$H = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{T-t_0}\right)^b}$$

H	Ausfallswahrscheinlichkeit bzw. Ausfallshäufigkeit
t	Zufallsvariable bzw. Lebensdauervariable (z.B. die Anzahl der Schaltspiele bis zum Ausfall)
t <sub>0</sub>	Lagerparameter bzw. ausfallfreie Zeit (wird in der Regel mit t <sub>0</sub> =0 gerechnet)
T	Charakteristische Lebensdauer, bei der 63,2% der Bauteile ausgefallen sind
b	Formenparameter, der die Steigung im Weibullnetz darstellt b<1      Frühausfälle (die Ausfallsrate sinkt mit zunehmender Zeit) b=1      Zufallsausfälle (die Ausfallsrate ist konstant, entspricht einer Exponentialverteilung) b>1      Verschleißausfälle (die Ausfallsrate steigt mit zunehmender Zeit)

In der Regel kann die ausfallsfreie Zeit mit t<sub>0</sub>=0 angenommen werden, womit wir zur 2-parametrischen Form gelangen.

$$H = 1 - e^{-\left(\frac{t}{T}\right)^b}$$

Werden die ausgefallenen Bauteile in einem linearen Diagramm angezeigt, erhält man eine eher wenig aussagekräftige S-förmige Linie. Durch einen einfachen Trick wird der Maßstab der Ordinate doppeltlogarithmisch und die Abszisse logarithmisch dargestellt und man bekommt eine Gerade. Diese wird dann als Weibull-Netz oder Wahrscheinlichkeitspapier bezeichnet.

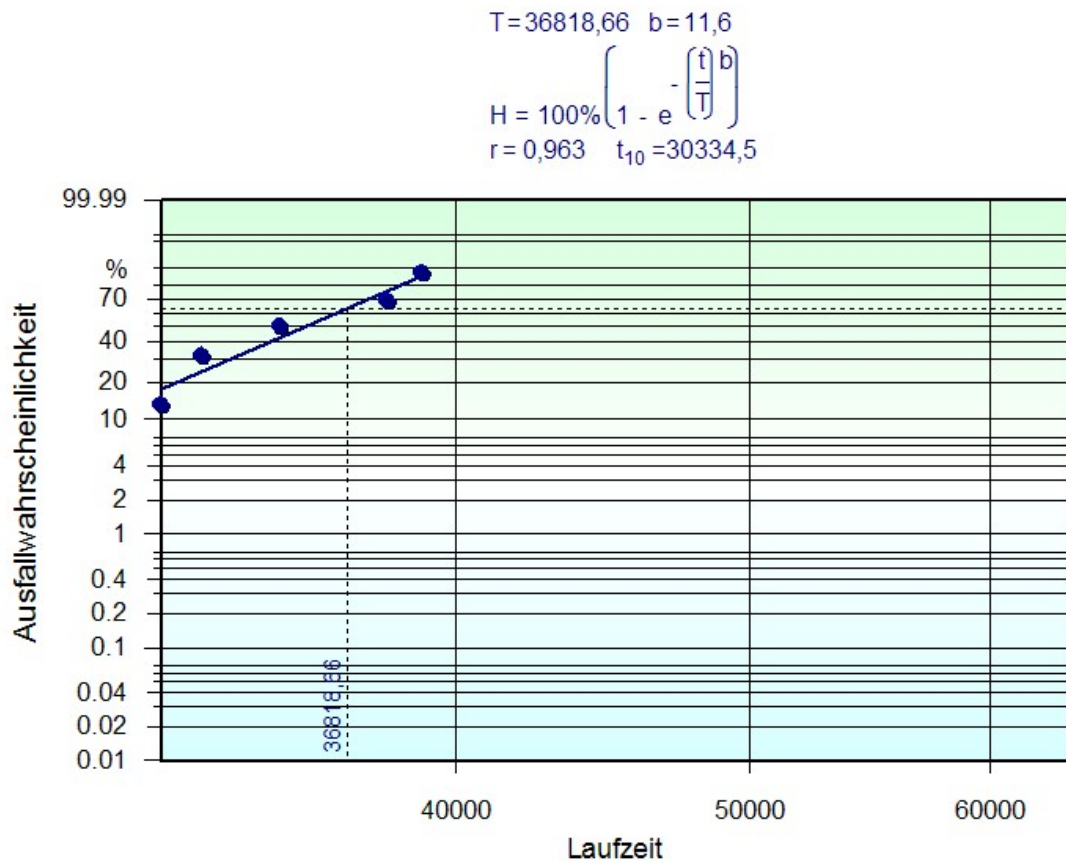


Abbildung 23, Weibull-Netz

## 7.4 Lebensdauer von Geräten und deren Komponenten

Die Ausfallshäufigkeit von Geräten wird von deren verwendeten Komponenten bestimmt. Der Verschleiß dieser elektrischen Komponenten wie Schalter und Relais wird jedoch nicht von deren Einsatzdauer, sondern von der Anzahl der Schaltspiele bestimmt und wirkt vorwiegend an den Kontakten. Die Wirkung der Beanspruchung ist nur von kurzer Dauer, meist sind das nur wenige Millisekunden, und wirkt vor allem beim Ein- und Ausschalten der Last. Zu berücksichtigen ist sowohl die Art der Spannung, also ob es sich um Gleich- oder Wechselspannung handelt sowie die Höhe des Stroms. Auch muss die Art der Last berücksichtigt werden, handelt es sich um eine induktive, eine kapazitive oder um eine rein ohmsche Last, also einem reinen Wirkwiderstand. Mechanische Ausfälle bei Mikroschaltern sind sehr selten und entstehen in erster Linie durch unsachgemäße Beanspruchung, wie zum Beispiel das Betätigen des Schalters über die Endstellung hinaus (siehe Abschnitt 3.3 Wege des Betätigers).

Erst wenn diese Faktoren genau berücksichtigt wurden, lässt sich eine genaue Aussage über die Lebensdauer im konkreten Einsatzfall treffen. In der Planungsphase muss der Entwickler von Geräten und Anlagen genaue Kenntnis über deren typischen Lebenszyklus in die Auswahl der Komponenten einfließen lassen. Daraus lässt sich die elektrische Lebensdauer der Komponenten repräsentativ ermitteln und es können qualifizierte Aussagen über die Lebensdauer bzw. mögliche ausfallsfreie Zeit der Geräte und Anlagen getroffen werden.

Es gibt unterschiedliche Definitionen nach IEC 60050 (191), die das Ausfallsverhalten von Geräten bestimmen. Ziel ist es, eine vorherbestimmte Nutzungsdauer von Komponenten und Geräten angeben zu können.

- MTTF (Mean Time To Failure): Für Einheiten, die nicht instand zu setzen sind, (z. B. Schalter, Relais, usw.) wird oft die so genannte ausfallsfreie Zeit angegeben, die auch gerne als mittlere Lebensdauer bezeichnet wird. Der Kehrwert davon ist die Ausfallsrate.
- FIT (Time To Failure): Für Bauteile ist nicht die Zeit, sondern viel mehr der Gebrauch (Anzahl der Schaltspiele) das Kriterium für den Ausfall. Man spricht in diesem Fall von einer Ausfallsrate.
- MTBF (Mean Time Between Failures): Die mittlere Betriebszeit zwischen zwei Ausfällen wird vor allem bei reparablen Geräten angegeben und ist im Wesentlichen ein Kriterium für die Zuverlässigkeit.
- MTTR (Mean Time To Repair): Wird auch oft als mittlere Zeit zur Wiederherstellung (Mean Time To Recover) bezeichnet und spiegelt die mittlere Zeit zur Wiederherstellung eines Systems nach einem Ausfall wider.

Die Ausfallsrate  $\lambda$  wird in Abhängigkeit der Schaltspiele in Form einer Badewannenkurve dargestellt und kann im Wesentlichen in drei Bereiche unterteilt werden:

- Frühausfälle haben eine stark fallende Ausfallsrate und werden durch geeignete Maßnahmen (wie zum Beispiel Endkontrolle oder burn-in-Maßnahmen) bereits in der Fertigung aussortiert und kommen daher nicht zum Einsatz.
- Zufallsausfälle (auch Brauchbarkeitsdauer genannt) weisen eine konstante Ausfallsrate auf.



- Verschleißausfälle sind abnutzungsbedingte Ausfälle, die Kurve steigt in diesem Bereich stark an. In erster Linie werden diese Ausfälle der Lebensdauer zuordenbar.

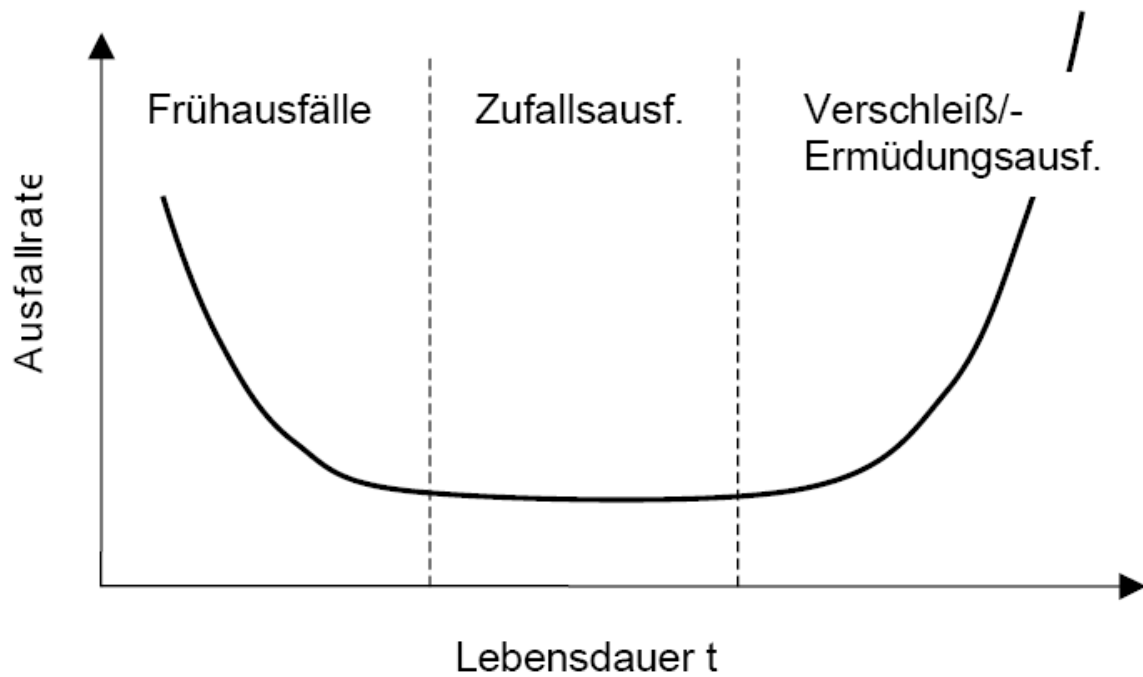


Abbildung 24, Badewannenkurve

## 8 Beispiel für einen Lebensdauertest

Im Folgenden möchte ich anhand einer konkreten Kundenanfrage den Weg von der ersten technischen Anfrage, über den Testablauf selbst, bis hin zum Bericht an den Kunden ein praktisches Beispiel erörtern.

Der Ablauf eines Lebensdauertests wird nach bestimmten Regeln durchgeführt. Zunächst müssen sämtliche Anforderungen seitens des Kunden bekannt sein und schriftlich festgehalten werden. Es müssen die elektrische Last, die Anzahl der Schaltspiele, aber auch ein konkreter Zeitplan, aufgestellt werden. Die Planungsphasen wurden im Laufe der Jahre immer kürzer und dementsprechend herrscht bei jedem Lebensdauertest ein gewisser Zeitdruck. Danach kann mit dem Testaufbau begonnen werden. Je nach Komplexität der Schaltung wird eine Ersatzschaltung aufgebaut oder aber auch die Originalschaltung des Kunden für den Test herangezogen. Der Test kann somit beginnen und läuft bis zum Erreichen der gewünschten Schaltspiele oder bis zum Ausfall der Kontakte.

Bei Schaltertests mit pneumatischer Betätigung kam es in der Vergangenheit immer wieder zum Bruch von Kontaktteilen, oder aber auch zu einem Federbruch aufgrund zu hoher Betätigungsgeschwindigkeiten. Die Geschwindigkeit der Zylinder war schwer zu regeln, was mit ein Grund für den Umbau auf den elektrischen Linearantrieb war.

Nach Beendigung der Tests werden die Ergebnisse bewertet. Dazu werden die Schalter selbst und die Lötstellen der Anschlüsse einer optischen Prüfung unterzogen. Danach werden die Widerstände der Kontakte mit einem Referenzmessgerät gemessen, mit den errechneten Werten verglichen und protokolliert. Anschließend wird das Gehäuse geöffnet und die Oberflächen der Kontakte unter einem Mikroskop untersucht. Hierbei können meist Verschleißerscheinungen am Kontakt, wie Materialwanderung oder Abbrand, festgestellt werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, einen Querschliff des Kontaktes herzustellen. Dabei erhält man Einsicht auf die verbliebene Kontaktdicke beziehungsweise wie stark der Verschleiß ausgefallen ist. Fremdschichten werden gegebenenfalls mittels Rastenelektronenmikroskop festgestellt.

Am Ende jedes Tests steht eine statistische Auswertung der Prüfergebnisse. Diese werden ausführlich dokumentiert und intern gespeichert, um weitere ähnliche

Anfragen rasch beantworten zu können. In jedem Fall erhält der Kunde einen umfangreichen Endbericht der Testergebnisse.

### 8.1 Kundenanforderung und Auswahl der Schaltertype

Ein renommierter Zulieferer der Automobilbranche stellt hochwertige Schließsysteme her. Die Anforderungen an unsere Mikroschalter waren neben der hohen Lebensdauer von 200.000 Schaltspielen, auch ein geringes Kontaktprellen und ein möglichst leiser Schaltkontakt. Ein weiteres Kriterium war eine möglichst kompakte Bauform. Die Wahl fiel somit auf die Type ASQ11510, eine Ausführung mit nahezu prellfreien Gleitkontakten. Diese Konstruktion der Kontakte erlaubt einen sehr hohen Nachlaufweg bei nahezu lautlosem Schalten.

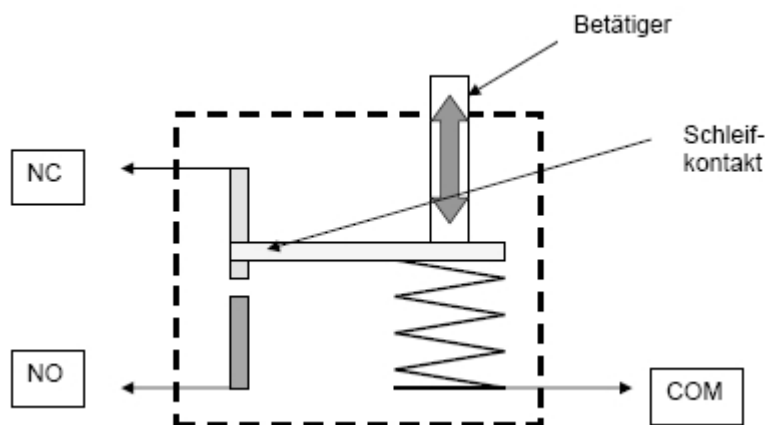


Abbildung 25, Schematische Darstellung ASQ Schalter mit Schleifkontakt

Weitere Vorteile dieser Schalterserie liegen bei der robusten Ausführung der Schutzklasse IP6K7. Somit ist der Schalter völlig staubdicht und berührungssicher und ein Schutz gegen Eindringen von Flüssigkeiten ist bis zum zeitweiligen Untertauchen gegeben.

Die Anforderungen seitens der elektrischen Belastung auf die Kontakte wurden vom Kunden sehr konkret angegeben. Ein Widerstand von  $680\Omega$  bei einer Spannung von gerade einmal 5V und einer Kapazität von 100nF parallel zum Kontakt, ergibt rechnerisch einen Strom von 7,35mA.

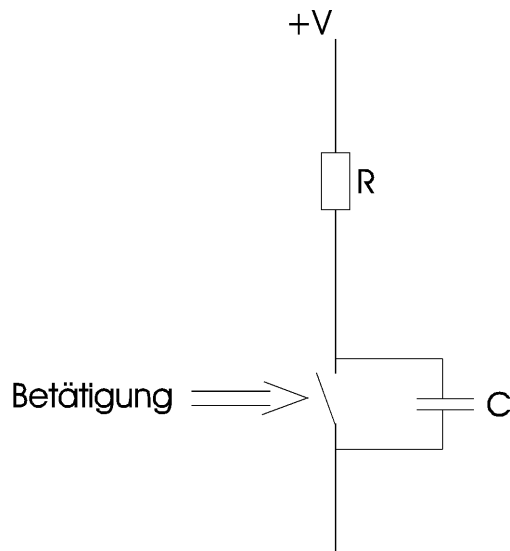


Abbildung 26, Schaltung Ersatzlast

Eine weitere Forderung des Kunden war, dass 90% der Schalter eines Loses die geforderten 200.000 Schaltspiele erreichen. Für eine Stichprobe muss die Aussagewahrscheinlichkeit bei 80% liegen. Der Zusammenhang zwischen Stichprobenumfang, Lebensdauer und Aussagewahrscheinlichkeit stellt sich wie folgt dar:

$$Lebensdauer = (1 - Aussagewahrscheinlichkeit)^{\left\langle \frac{1}{\text{Anzahl der Prüflinge}} \right\rangle}$$

Daraus lässt sich folgendes ableiten:

$$\text{Anzahl\_der\_Prüflinge} = \frac{\ln(1 - Aussagewahrscheinlichkeit)}{\ln(Lebensdauer)}$$

oder

$$\text{Anzahl\_der\_Prüflinge} = \frac{\ln(1 - 0,2)}{\ln(0,9)} = 15,2755$$

Da unser Schaltertester nur vier Schalter parallel testen kann, sind somit vier identische Prüfungen durchzuführen.

## 8.2 Verlauf von Strom und Spannung

Um den Verlauf von Strom und Spannung an den Kontakten besser dokumentieren zu können, werden sämtliche Messungen auch mittels Oszilloskop durchgeführt. Dabei lässt sich der zeitliche Verlauf von Strom und Spannung sowohl beim Öffnen als auch beim Schließen der Kontakte grafisch darstellen.

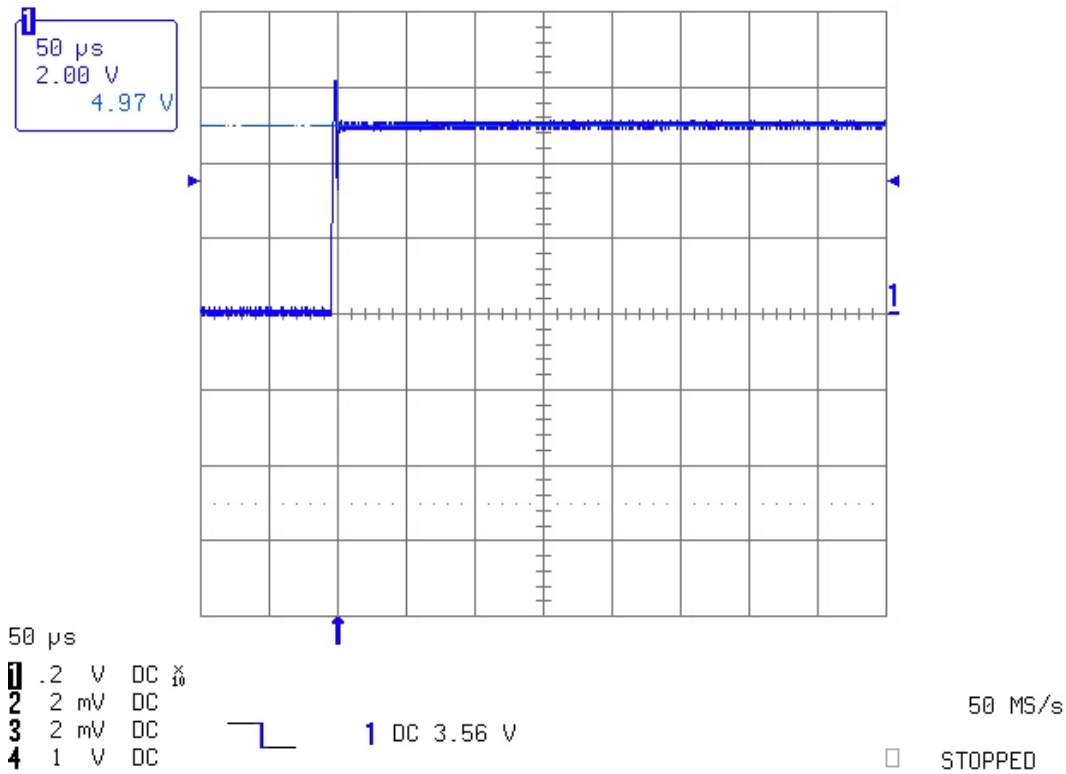


Abbildung 27, Verlauf des Stroms beim Schließen des Schalters

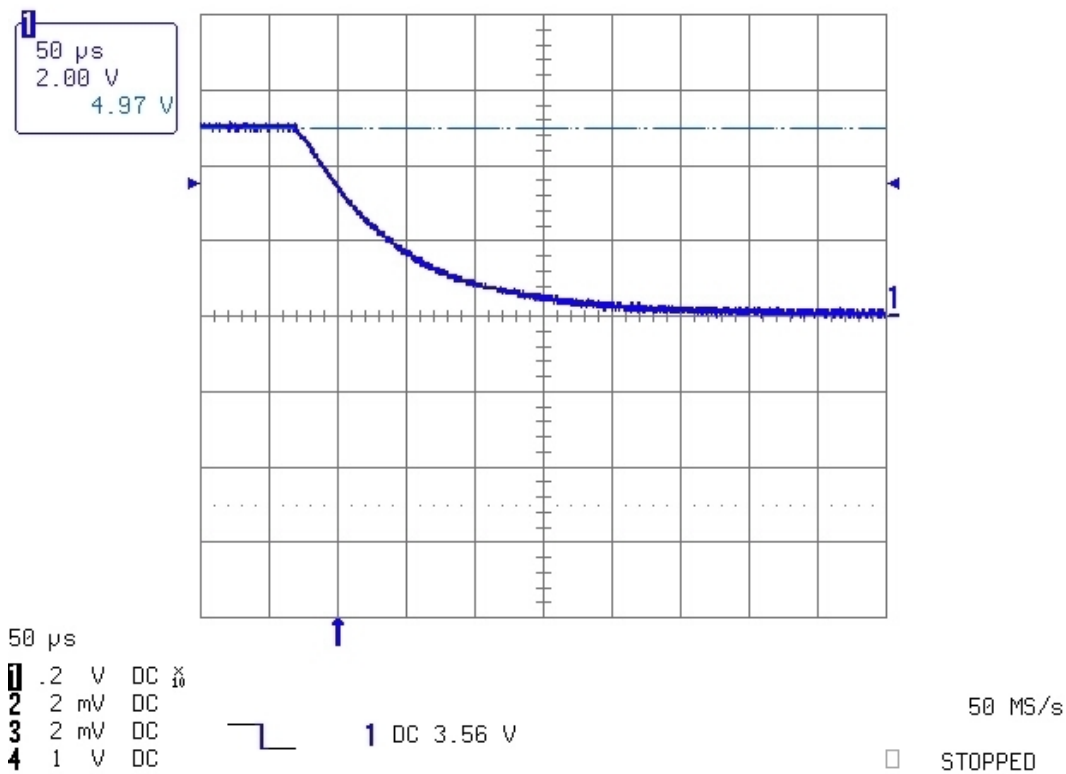


Abbildung 28, Verlauf des Stroms beim Öffnen des Schalters

### 8.3 Testlauf, Ermittlung der Ergebnisse

Im konkreten Fall wurden die Schalter so lange getestet, bis alle vier Schalter einen Kontaktwiderstand von 100mΩ aufwiesen. Anschließend wurde am Prüflos der tatsächliche Kontaktwiderstand mittels Milliohmmeter und die erreichten Schaltspiele dokumentiert.

Schalter	Schaltspiele	Kontaktwiderstand
1	248.661	0,10 Ω
2	229.870	0,14 Ω
3	280.541	0,18 Ω
4	240.432	0,13 Ω
5	233.459	0,12 Ω
6	252.457	0,15 Ω
7	261.961	0,11 Ω
8	228.310	0,10 Ω
9	240.432	0,14 Ω
10	248.661	0,13 Ω
11	252.457	0,17 Ω
12	261.961	0,10 Ω
13	233.459	0,10 Ω
14	228.310	0,12 Ω
15	229.870	0,13 Ω
16	280.541	0,16 Ω

Tabelle 9, Schaltspiele und Widerstände bis zum Erreichen des Prüfkriteriums 1

Schon nach dem Betrachten der Kontaktwiderstände war eine grobe Beschädigung der Kontaktoberflächen nicht zu erwarten. Nichts desto trotz wurden einige Schalter geöffnet und die Oberflächen der Kontakte betrachtet.

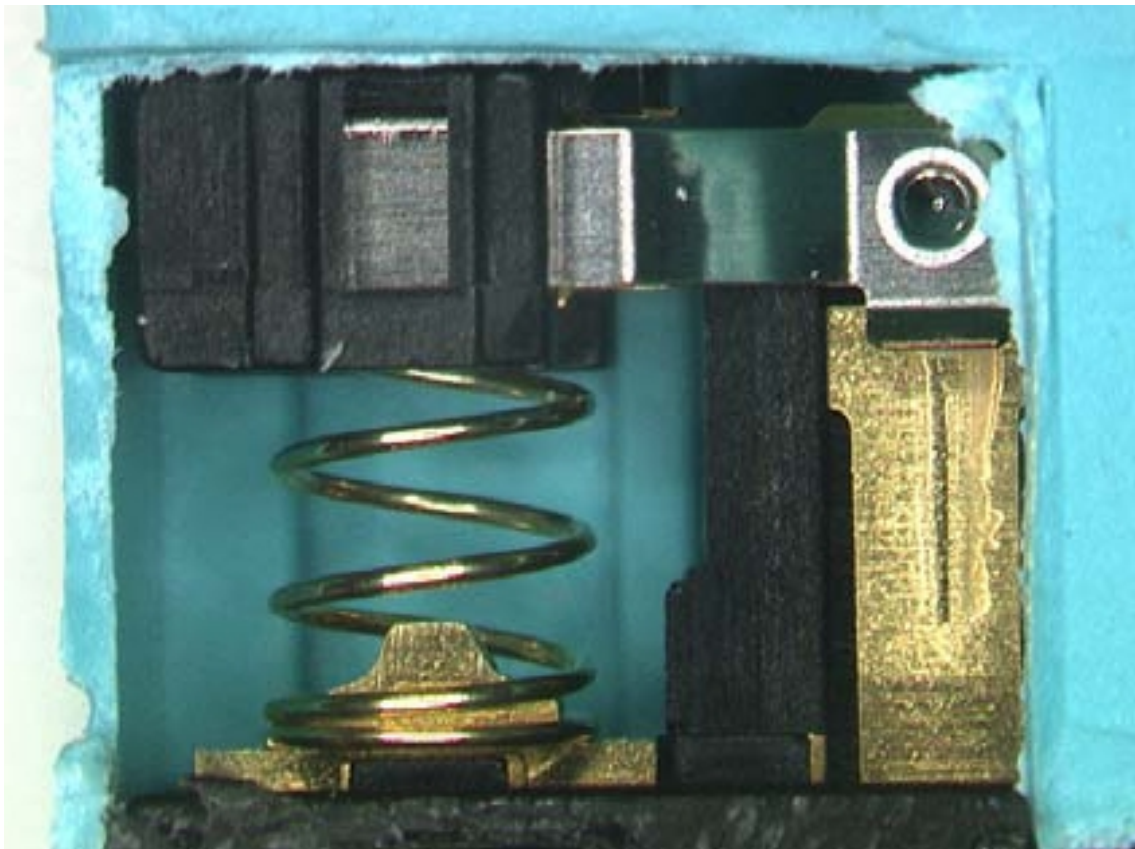


Abbildung 29, Schalter 1 geöffnet

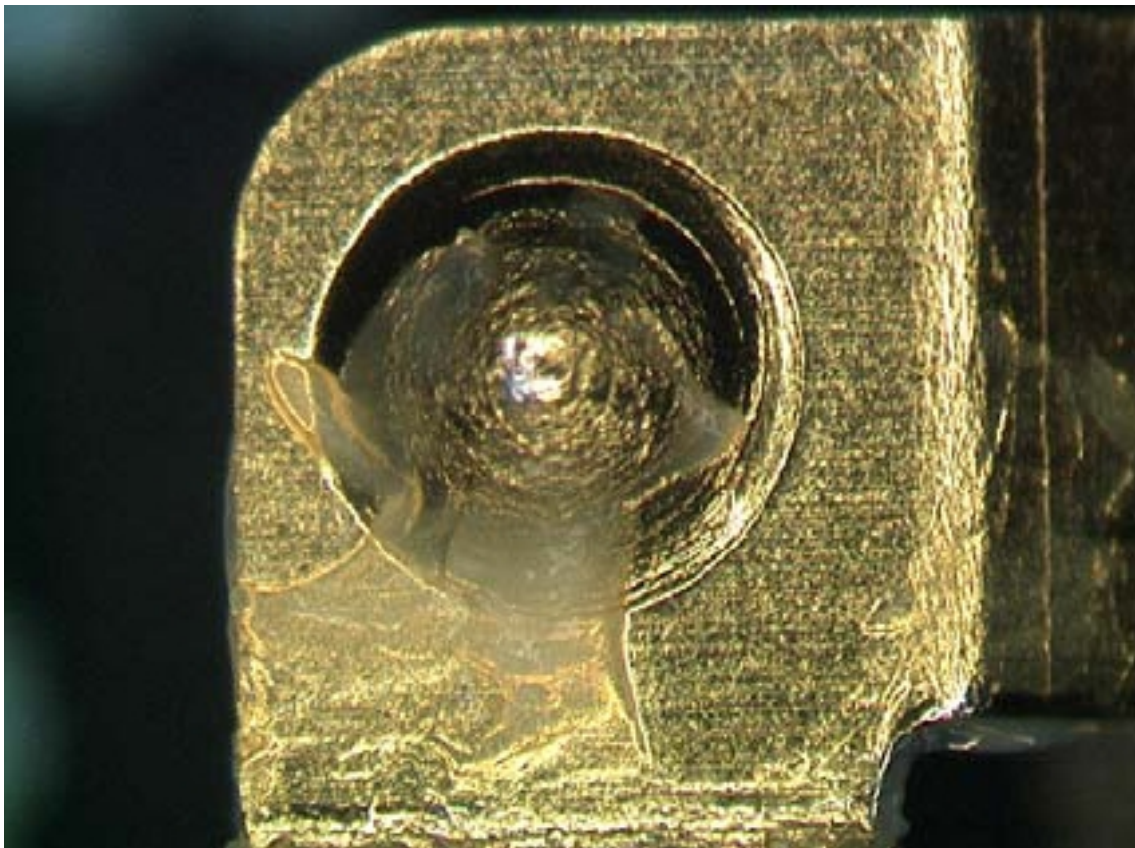


Abbildung 30, Kontaktfläche Schalter 1



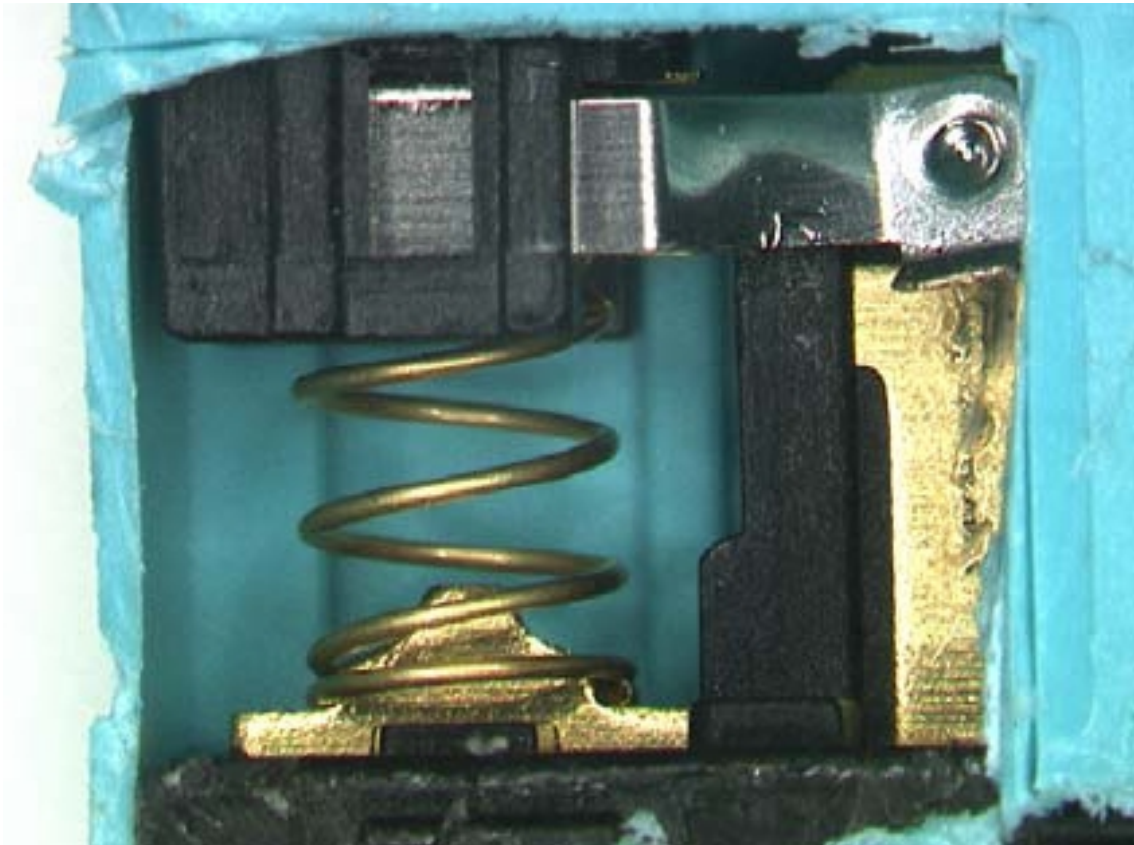


Abbildung 31, Schalter 3 geöffnet

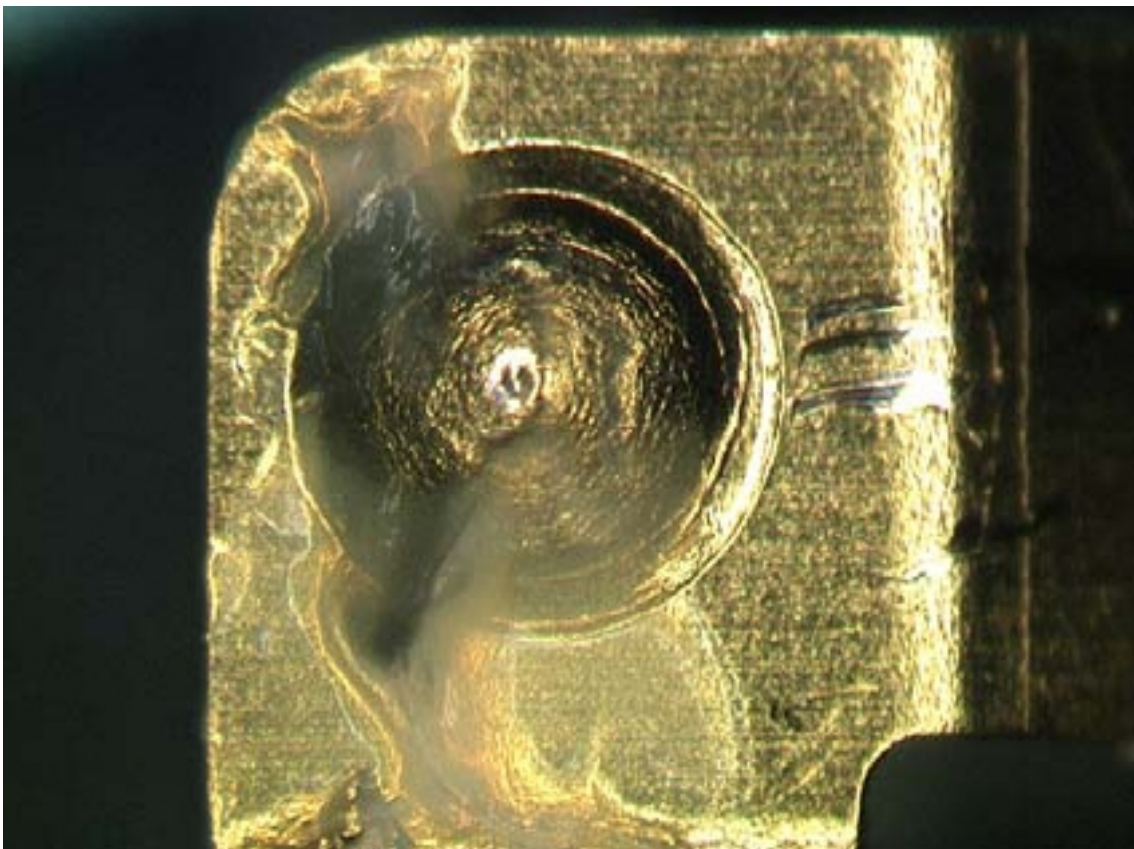


Abbildung 32, Kontaktfläche Schalter 3



Um die Aussagekraft der Untersuchung zu verstärken wurden anschließend die Prüfkriterien verschärft. Die Abbruchbedingung war nicht ein Kontaktwiderstand von 100mΩ, sondern es sollten 1.000.000 Schaltzyklen absolviert werden. Die abschließenden Untersuchungen wurden analog zur ersten Testserie durchgeführt.

Schalter	Schaltspiele	Kontaktwiderstand
13	1.000.000	0,94 Ω
14	713.239	Federbruch
15	819.478	Schalter defekt
16	1.000.000	0,76 Ω

Tabelle 10, Schaltspiele und Widerstände bis zum Erreichen des Prüfkriteriums 2

Hier zeigte sich, dass zwei Schalter noch vor Erreichen des Prüfkriteriums das Ende der mechanischen Lebensdauer erreichten. In einem Fall war der Ausfall auf einen Bruch der Feder zurückzuführen, im zweiten Fall war die Feder lediglich aus der Führung gesprungen. Vor allem dem Schalter 15 haben die Tests deutlich zugesetzt, die Verschleißerscheinungen sind offensichtlich. Die Schalter 13 und 16 haben jedoch die im Datenblatt angegebene Schalthäufigkeit deutlich überschritten und die Kontaktwiderstände sind innerhalb der Toleranzgrenze.

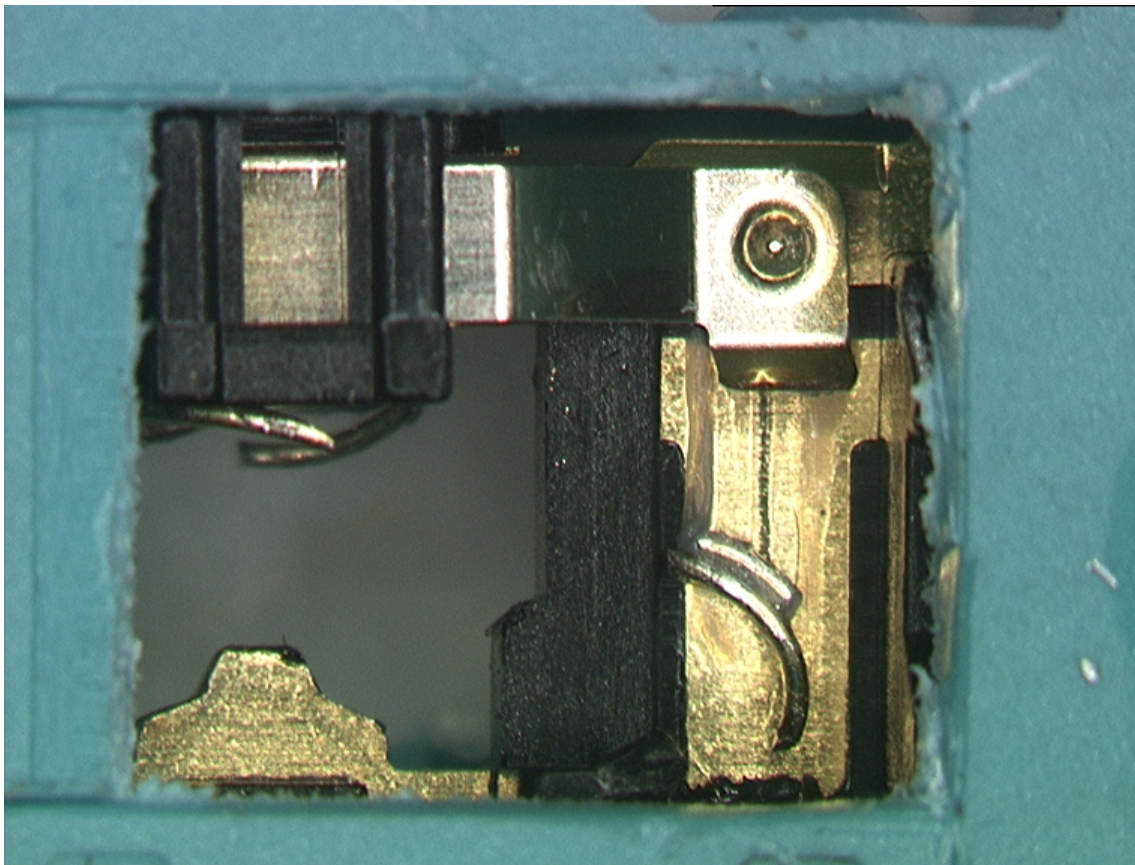


Abbildung 33, Schalter 14 mit gebrochener Feder, unbetätigt

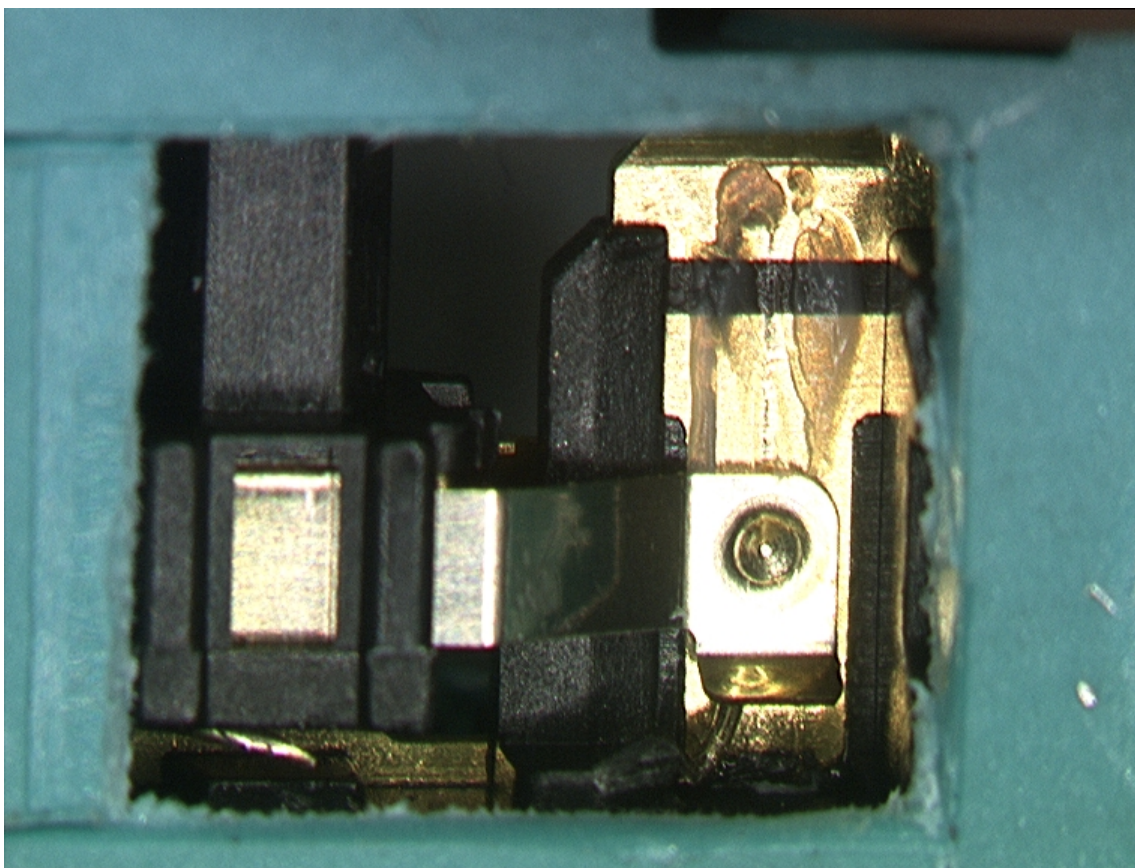


Abbildung 34, Schalter 14 mit gebrochener Feder, betätigt



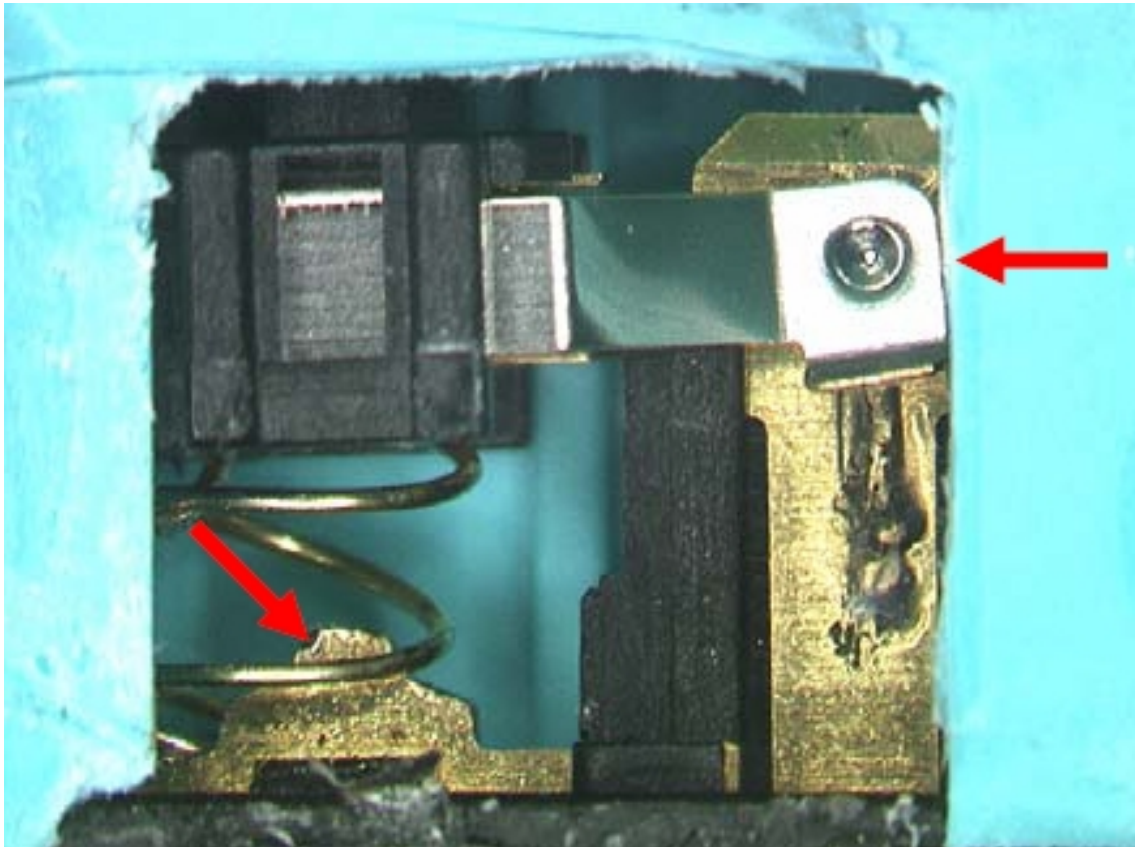


Abbildung 35, Schalter 15, Feder aus der Führung gesprungen



Abbildung 36, Schalter 15 mit deutlicher Verschleißerscheinung

## 8.4 Ergebnisse des Lebensdauertests

Nach Beendigung des Lebensdauertests mit der vom Kunden angegebenen Last wurde festgestellt, dass die geprüften Schalter der Type ASQ11510 die geforderten Schaltzyklen fehlerfrei absolviert hatten. Auch das Kontaktbild, welches sich nach dem Öffnen der Schaltergehäuse zeigte, wies keinen erhöhten Verschleiß auf. Erst nachdem der Test mit der fünffachen Schaltzahl durchgeführt wurde kam es zu mechanischen Defekten an den Bauteilen.

Die geprüften Bauteile eignen sich hervorragend für die vom Kunden spezifizierte Applikation.

## 9 Blick in die Zukunft, Resümee

Mit den bisher verwendeten Prüfeinrichtungen konnten diverse Kenngrößen von Mikroschaltern automatisiert geprüft und ausgewertet werden. Auf die Erstellung eines Kraft-Wege-Diagramms musste jedoch verzichtet werden. Aus diesem Grund wurde der Schlitten, der die zu prüfenden Schalter betätigt, nicht mehr pneumatisch bewegt, sondern mit einem elektrischen Antrieb nach dem Tauchspulenprinzip. Damit lassen sich auch die Parameter wie Betätigungsgeschwindigkeit, Kräfte auf den Betätiger und die Positionen bestimmen und protokollieren. Die auf die Schalter einwirkenden Kräfte können sehr fein dosiert werden, so besteht die Möglichkeit einen rampenförmigen Kräfteverlauf einzustellen. Die Bedienung der Anlage erfolgt über ein großflächiges Touchdisplay, in Verbindung mit einem Industrie-PC ermöglicht dieses eine intuitive Arbeitsweise.

Für das derzeitige Testaufkommen kann die gesamte Anlage als umfangreich und ausreichend bezeichnet werden. Sollten sich jedoch in Zukunft die Prüfanfragen häufen, sollte ein erneuter Umbau beziehungsweise Ausbau der Anlage in Betracht gezogen werden. Dazu müssten die Prüf- und Abbruchbedingungen entweder neu definiert oder einfacher und flexibler gestaltet werden. Es könnte vor allem die Möglichkeiten des Industrie-PC besser genutzt werden. Angedacht ist im Speziellen eine Personalisierung des Prüfers. Damit ist auf dem Prüfprotokoll immer der Verantwortliche der Prüfung ersichtlich. Der Rechner könnte auch in das firmeninterne Netz eingebunden werden und bei jeder Statusänderung eine Nachricht per E-Mail an den Prüfer versenden. Ein weiterer Punkt ist die Erstellung eines Endberichts. Derzeit ist es zwar möglich, dass die ermittelten Daten exportiert werden. Würde man die Kunden, die Anforderungen an die Schalter und die Schaltertype selbst in einer Datenbank erfassen, dann könnte man einen automatisierten Bericht generieren. Dieser müsste gegebenenfalls nur noch mit Fotos der geöffneten Schalter und mit einem Schlusskommentar des Prüfers selbst versehen werden. Diese Datenbank hätte auch den Vorteil der möglichen Suchfunktion. Anfragen mit vergleichbaren Kriterien könnten rascher und im besten Fall sogar ohne Testaufwand beantwortet werden.

Zu guter Letzt steht noch die Idee der Temperaturmessung im Raum. Vor allem beim Schalten von größeren elektrischen Lasten kommt es zu einer Erwärmung der Kontakte und in weiterer Folge zur Erwärmung des Schalters selbst. Als

problematisch stellt sich die Tatsache heraus, dass die verwendeten Schalter selten bei Raumtemperatur betrieben werden. Somit könnten Tests auch in einem Klimaschrank durchgeführt werden. Die Temperaturmessung selbst könnte mit Hilfe eines Infrarotsensors realisiert werden.

## IV Literaturverzeichnis

Sauer, Hans: Relais Lexikon - 2. Auflage - Dr. Alfred Hüthig Verlag Heidelberg, 1985

Datenblatt der Firma SMC, SMC: D801- D/CH, 01/06 Pb10/switzerland

Schärf, Julius: Mathematik für Höhere technische Lehranstalten, Band 3 – 8. Auflage  
- R. Oldenbourg Verlag Wien, 1993

Schärf, Julius: Mathematik für Höhere technische Lehranstalten, Band 2 – 6. Auflage  
- R. Oldenbourg Verlag Wien, 1994

Hartung, Joachim: Statistik – Lehr- und Handbuch der angewandten Statistik, 13.  
Auflage – R. Oldenbourg Verlag München Wien, 2002

Meintrup, David: Stochastik, Theorie und Anwendungen – Springer Verlag, 2005

Keil, Albert, Merl, Wilhelm A., Vinaricky, Eduard: Elektrische Kontakte und ihre  
Werkstoffe – Springer Verlag, 1984

## **V Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Wiener Neustadt, am 4. Mai 2009

Johann Rumpler